

博士論文（要約）

**Research on Japanese Typefaces and  
Typeface Customization System Designed  
for Readers with Developmental Dyslexia**

（発達性ディスレクシアに特化した和文書体と  
書体カスタマイズシステムの研究）

朱心茹



# 目次

第 1 章	研究背景	1
第 2 章	和文書体の作成と評価	3
第 3 章	和文書体カスタマイズシステムの開発と評価	5
第 4 章	和文書体と書体カスタマイズシステムの有用性	7
参考文献		7



# 1 研究背景

本論文は、発達性ディスレクシアを持つ読者に対する支援の一つとして、和文書体および和文書体カスタマイズシステムを提案するものである。

第 I 部では、研究の背景、目的および枠組みについて述べた。

発達性ディスレクシア（以下ディスレクシア）は、神経生物学的原因に起因し、読字や書字に他の認知能力からは予測できない著しい困難がみられる学習障害である。こうした困難は、音韻情報処理過程や視覚情報処理過程などにおける障害によって生じるとされている。英語圏では 5-17% の学齢期児童にディスレクシアの症状が現れ、日本では 8% 前後の頻度で出現することが明らかになっている。ディスレクシアの症状は多様であり、それぞれの特性に配慮した指導と支援を提供することが重要である。欧文においては、支援の一つとして特別にデザインされた書体が存在し、その有用性が示されている。日本語においても書体はディスレクシアを持つ読者にとって影響を与えることが知られていることに加え、ディスレクシアの視覚的症状と読みの認知プロセスは言語や文字体系によらず共通していることから、特別にデザインされた和文書体がディスレクシア支援として有用である可能性が示唆される。しかしながら、そのような和文書体は作られてこなかった。

第 1 章では、これらの研究背景を明らかにした上で、ディスレクシアに特化した和文書体が存在しなかった理由として、3 つの課題を挙げた。

**課題 1** ディスレクシア書体の視覚的特徴が体系的に明らかになっていない

**課題 2** 和文書体は文字数が多く、字形が複雑であるため、作成が容易ではない

**課題 3** 一つの書体がディスレクシアを持つ全ての読者にとって最適である可能性は低い

本研究では、これらの課題に対して、それぞれ解決方法を提案した。

**方法 1** ディスレクシア欧文書体の特徴を体系的に明らかにし、和文にマッピングすることで和文書体の要件を定義する

**方法 2** プログラムを用いてディスレクシア和文書体の要件を既存書体に自動的に適用することで、新たな書体を作成する

**方法 3** ディスレクシア和文書体の要件に基づいて、利用者が自身の読みやすい書体を作成できるカスタマイズシステムを開発する

以上の解決方法に基づいて研究の枠組みを構築し、(1) ディスレクシアに特化した和文書体の作成、および(2) ディスレクシアに特化した和文書体カスタマイズシステムの開発を本研究の目的と定めた。

第 2 章では、研究の背景と方法に関連する先行研究のレビューを行った。ディスレクシアとその支援に関する研究と実践からは、ディスレクシアの症状の多様性と個々人の特性に合わせた支援の重要性が明らかになった。既存のディスレクシア欧文書体の有用性が確認され、ディスレクシア和文書体の可能性が示唆された。また、従来の書体研究では音読速度などに表れる客観的な「読みやすさ」が重視されてきたが、読むことを負担に感じる読者にとっては、主観的な「読みやすさ」が重要であることをディスレクシア支援の実践に基づいて指摘した。書体設計のパラメトリックな手法に関する研究と実践からは、書体のアルゴリズム的な設計に対する 3 つのアプローチ（アウトライン方式、スケルトン方式、パーツ方式）が抽出され、それぞれの利点と欠点が整理された。これに基づき、本研究では書体作成においてはアウトライン方式を、カスタマイズシステム開発においてはスケルトン方式を採用することが確認された。

## 2 和文書体の作成と評価

第 II 部では、上記課題 1 と課題 2 に対応する研究を報告した。

第 3 章では、欧文書体の視覚的特徴を体系的に抽出する方法を構築し、その方法を用いてディスレクシア欧文書体の特徴を明らかにした。欧文書体の視覚的要素の記述法と分類法に関する広範囲にわたるレビューを行い、体系的かつ客観的な一連の抽出方法を提案した。

LiS Font walnut

ディスレクシア和文書体

LiS Font cashew

ディスレクシア和文書体

図2.1: ディスレクシア和文書体

第 4 章ではまず、前章で抽出したディスレクシア欧文書体の特徴を和文書体にマッピングするかたちで、ディスレクシア和文書体の要件を定義した。マッピングに際しては、欧文と和文の組版の違いを踏まえた上で共通点を整理すると共に、日本語で使われる文字（ひらがな・カタカナ・漢字）の結構の相似をそれぞれ整理した。次に、アウトライン方式によって既存のオープンソース書体（源ノ角ゴシック）の字形に対してパラメトリックに変更を加えることで、定義したディスレクシア和文書体の要件を適用し、2 種類のディスレクシア和文書体（LiS Font）を作成した（図 2.1）。

第 5 章では、2 つの実験を行い、ディスレクシア和文書体の要件の妥当性とディスレクシア和文書体の有効性をそれぞれ評価した。

1 つ目の実験では、ニューラルネットワークを用いた書体分類を通して、ディスレクシア和文書体が他の和文書体と比較してよりディスレクシア欧文書体の特徴を備えていることを

実証した。間接的ではあるものの、これは欧文書体の特徴の和文書体へのマッピングが一定程度成功しており、ディスレクシア和文書体の要件が妥当であることを示す結果である。

2つ目の実験では、作成した2種類の和文書体の読みやすさに関する評価実験を行った。ディスレクシアを持つ参加者20名とディスレクシアを持たない参加者20名が実験に参加した。実験では速読課題とインタビューを行い、音読時間、誤読数、自己修正数を「読みやすさ」の客観的指標、参加者の書体に対する評価を「読みやすさ」の主観的指標とした。刺激には、4種類の書体（LiS Font walnut、LiS Font cashew、ヒラギノ丸ゴシック、ヒラギノ明朝）で組版された2種類の文書（漢字仮名交じりの文章、仮名の無意味文字列）を使用した。

実験の結果、ディスレクシアを持つ読者にとって、LiS Font が他の書体と比べて主観的に読みやすいことが明らかになった。そのうち、多くの読者にとっては LiS Font walnut が最も読みやすかったが、一部の読者は LiS Font cashew を最も読みやすいと評価した。実験では、本来の目的に加え、いくつかの興味深い結果が得られた。まず、書体が主観的な「読みやすさ」に大きく影響することが、多くの先行研究と同様に証明された。次に、多くの先行研究の結果に反して、書体が客観的な「読みやすさ」にも一定の影響を与えることが示された。また、客観的指標においても主観的指標においても、ディスレクシアを持つ読者の方が個人差が大きいことが示唆された（ディスレクシアを持たない読者は書体に関して一致した傾向を見せた）。これらの結果は、より一層個人の特性に着目したカスタマイズシステムの重要性を示した。



### 3 和文書体カスタマイズシステムの開発と評価

第 III 部では、上記課題 3 に対応する研究を報告した。

第 6 章では、先行研究の結果と前章までに行った研究結果を踏まえて、ディスレクシアに特化した和文書体カスタマイズシステム (LiS System) の開発を行った (図 3.1)。ウェブアプリケーションとして実装された本システムでは、ディスレクシア和文書体の要件が書体のパラメータに対応しており、利用者が直感的な操作でパラメータを変更することによって、自身にとって読みやすい書体を作ることができる。書体の生成はスケルトン方式によって行われており、利用者は 2 種類の文字の骨格 (KanjiVG、秀英丸ゴシック) を選択することができる。秀英丸ゴシックは大日本印刷秀英体開発室より研究利用に限り提供されたものであるが、本システムで利用するために、書体のアウトラインからスケルトンを抽出する方法を模索した。

第 7 章では、本システムの使いやすさとシステムを使って作成された書体の読みやすさに関する評価実験を行った。9 名のディスレクシアを持つ読者が実験に参加した。

システムの使いやすさに関しては、思考発話法とウェブユーザビリティ評価スケール (WUS) に基づいて作成した質問紙を用いて評価した。思考発話法では好意的なフィードバックが得られた他、多くの問題点が指摘された。これらは次回の実験前にシステムに反映される予定である。評価スケールの結果としては、「反応のよさ」(2.67/5) が比較的 low に評価されたものの、他の項目は高く評価され、「操作のわかりやすさ」(4.56/5) と「役立ち感」(4.72/5) の 2 つの項目では特に高い評価を得た。

作成された書体の読みやすさについては、一対比較法を用いて検証した。評価対象となった書体は 6 種類で、参加者が自身で作成した書体 3 種類とシステムが提示した書体 3 種類である。システムが提示した書体は、LiS Font walnut と LiS Font cashew のパラメータをそれぞれ持つ書体と先行研究においてディスレクシアを持つ読者にとって読みやすいと評価された教科書体である。作成された書体は人によって異なるものの、評価の結果、自身で作成した書体の方がより読みやすいことが明らかになった。



図3.1: 和文書体カスタマイズシステム

本実験の結果は、LiS System の有用性を実証したばかりでなく、ディスレクシアを持つ読者が自身で書体を作成することの実行可能性と有効性を示した。

加えて、本実験では参加者の読み書き困難の症状に関するインタビューを行っており、書体パラメータとディスレクシアの症状の関係を探っている。この課題に関しては今後の研究の中で明らかになっていくと考えられるため、論文の中では集計結果の記述にとどまっているが、これは本システムをディスレクシア研究に応用できる可能性を示すものである。

## 4 和文書体と書体カスタマイズシステムの有用性

第 IV 部第 8 章では、本論文の結論と研究の展望を述べた。

本論文で行った研究によって、ディスレクシアに特化した和文書体および和文書体カスタマイズシステムが初めて作成された。また、評価実験によって、和文書体と書体カスタマイズシステムがディスレクシア支援として有用であることが確認された。

今後の研究方向としては、書体と書体カスタマイズシステムの多言語化と実用化、およびカスタマイズシステムを応用したディスレクシア研究が考えられる。また、本研究の過程で新たに提示された「読みやすさ」に関するいくつかの疑問にも、今後の研究で答えていく必要がある。

## 参考文献

- Adobe. (1997). *Designing Multiple Master Typefaces*. Retrieved October 10, 2020, from [https://www.adobe.com/content/dam/acom/en/devnet/font/pdfs/5091.Design\\_MM\\_Fonts.pdf](https://www.adobe.com/content/dam/acom/en/devnet/font/pdfs/5091.Design_MM_Fonts.pdf)
- Adobe. (2019). *Adobe-Japan1*. Retrieved September 16, 2020, from <https://github.com/adobe-type-tools/Adobe-Japan1>
- Amado, P. (2013). *Font Formats Timeline*. Retrieved October 3, 2020, from <https://typeforge.wordpress.com/category/documents/history/>
- Ambrose, G., & Harris, P. (2010). *The Visual Dictionary of Typography*. AVA Publishing.
- Apel, U., & Quint, J. (2004). Building a Graphetic Dictionary for Japanese Kanji: Character Look up Based on Brush Strokes or Stroke Groups, and the Display of Kanji as Path Data. *Proceedings of the Workshop on Enhancing and Using Electronic Dictionaries*, 36–39.
- Baines, P., & Haslam, A. (2005). *Type & Typography*. Laurence King Publishing.
- Bates, K. (2006). *Lexie Readable – K-Type*. Retrieved August 14, 2020, from <https://www.k-type.com/fonts/lexie-readable/>
- Bauermeister, B. (1988). *A Manual of Comparative Typography: The PANOSE System*. Van Nostrand Reinhold Company.
- Beier, S. (2012). *Reading Letters: Designing for Legibility*. BIS Publishers.
- Bergstra, J., Yamins, D., & Cox, D. D. (2013). Making a Science of Model Search: Hyper-parameter Optimization in Hundreds of Dimensions for Vision Architectures. *Proceedings of the International Conference on Machine Learning*, 115–123.
- Bergstra, J., Bardenet, R., Bengio, Y., & Kégl, B. (2011). Algorithms for Hyper-parameter Optimization. *Proceedings of Neural Information Processing Systems*, 2546–2554.

- Berlaen, F. (2006). *Kalliculator* (Master's thesis). Royal Academy of Art The Hague.
- Berlaen, F. (2007). *Font Constructor*. Retrieved October 4, 2020, from <http://fontconstructor.com/>
- Berlaen, F. (2019). *Outliner*. Retrieved October 7, 2020, from <https://github.com/typemytype/outlinerRoboFontExtension>
- Berlaen, F. (2020). *RoboFont*. Retrieved September 23, 2020, from <https://www.robofont.com/>
- Blokland, F. E. (2016). *On the Origin of Patterning in Movable Latin Type* (Doctoral dissertation). Leiden University.
- Boer, C. (2008). *Dyslexie Font - Typeface*. Retrieved August 14, 2020, from <https://www.dyslexiefont.com/en/typeface/>
- Bringhurst, R. (2016). *The Elements of Typographic Style* (4th ed.). Hartley & Marks.
- British Dyslexia Association. (2015). *Dyslexia Style Guide*. Retrieved April 5, 2018, from [http://www.bdadyslexia.org.uk/common/ckeditor/filemanager/userfiles/About\\_Us/policies/Dyslexia\\_Style\\_Guide.pdf](http://www.bdadyslexia.org.uk/common/ckeditor/filemanager/userfiles/About_Us/policies/Dyslexia_Style_Guide.pdf)
- Caravolas, M. (2005). The Nature and Causes of Dyslexia in Different Languages. In M. J. Snowling & C. Hulme (Eds.), *The Science of Reading: A Handbook* (pp. 336–355). Blackwell Publishing.
- Cheng, K. (2005). *Designing Type*. Yale University Press.
- Childers, T., Griscti, J., & Leben, L. (2013). 25 Systems for Classifying Typography: A Study in Naming Frequency. *Parsons Journal for Information Mapping*, 5(1), 1–22.
- Coles, S. (2012). *The Anatomy of Type*. Harper Design.
- Coulmas, F. (2003). *Writing Systems: An Introduction to Their Linguistic Analysis*. Cambridge University Press.
- Dehaene, S. (2009). *Reading in the Brain: The New Science of How We Read*. Penguin Books.
- de Leeuw, R. (2010). *Special Font for Dyslexia?* (Master's thesis). University of Twente.
- Dixon, C. (2018). Systematizing the Platypus: A Perspective on Type Design Classification. In E. Kindel (Ed.), *Typeform Dialogues* (pp. 89–130). Hyphen Press.
- Everatt, J., & Elbeheri, G. (2008). Dyslexia in Different Orthographies: Variability in Transparency. In G. Reid, A. J. Fawcett, F. Manis, & L. S. Siegel (Eds.), *The SAGE Handbook of Dyslexia* (pp. 427–438). SAGE Publications.

- Field, A. (2009). *Discovering Statistics Using SPSS*. SAGE Publications.
- Frensch, N. (2003). *Read Regular / Read Regular*. Retrieved August 14, 2020, from <http://www.readregular.com/english/regular.html>
- Gaskell, P. (1976). A Nomenclature for the Letterforms of Roman Type. *Visible Language*, 10(1), 41–51.
- Gonzalez, A. (2011). *OpenDyslexic, free open-source typeface*. Retrieved August 14, 2020, from <https://www.opendyslexic.org/>
- Grissom, R. J., & Kim, J. J. (2012). *Effect Sizes for Research: Univariate and Multivariate Applications* (2nd ed.). Routledge.
- Haralambous, Y. (2007). *Fonts & Encodings*. O'Reilly Media.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition. *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 770–778.
- Hewlett-Packard. (1997). *PANOSE Classification Metrics Guide*. Retrieved September 20, 2020, from <https://monotype.github.io/panose/pan1.htm>
- Highsmith, C. (2012). *Inside Paragraphs: Typographic Fundamentals*. Font Bureau.
- Hillier, R. A. (2006a). *Fonts / Sylexiad.com*. Retrieved August 14, 2020, from <https://www.sylexiad.com/fonts/all>
- Hillier, R. A. (2006b). *A Typeface for the Adult Dyslexic Reader* (Doctoral dissertation). Anglia Ruskin University.
- Hochuli, J. (2008). *Detail in Typography*. Hyphen Press.
- Hu, C., & Hersch, R. D. (2001). Parameterizable Fonts Based on Shape Components. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(3), 70–85.
- Hulme, C., & Snowling, M. J. (2009). *Developmental Disorders of Language Learning and Cognition*. Wiley-Blackwell.
- Iizuka, S. (2007). A Classification of Assistive Technologies for Reading Disorder Based on the Process of Language Understanding [in Japanese]. *IEICE Technical Report*, 106(612), 43–48.
- Ijuin, M., & Wydell, T. N. (2018). A Reading Model from the Perspective of Japanese Orthography: Connectionist Approach to the Hypothesis of Granularity and Transparency. *Journal of Learning Disabilities*, 51(5), 490–498.
- Imada, T., & Yodogawa, E. (1983). On the Present Visual Psychological Studies on Human Character Recognition [in Japanese]. *ITE Technical Report*, 7(19), 1–6.

- International Dyslexia Association. (2002). *Definition of Dyslexia*. <https://dyslexiaida.org/definition-of-dyslexia/>
- Japan Dyslexia Research Association. (2016). *Definition of Developmental Dyslexia [in Japanese]*. Retrieved October 4, 2020, from <http://square.umin.ac.jp/dyslexia/factsheet.html>
- Japanese Industrial Standards Committee. (2000). *Glossary of Terms Used in Font Information Processing (TR X 0003:2000)* (Standard). Japanese Industrial Standards Committee.
- Japanese Industrial Standards Committee. (2012a). *7-bit and 8-bit Double Byte Coded Extended Kanji Sets for Information Interchange (JIS X 0213:2004)* (Standard). Japanese Industrial Standards Committee.
- Japanese Industrial Standards Committee. (2012b). *7-bit and 8-bit Double Byte Coded Kanji Sets for Information Interchange (JIS X 0208:1997)* (Standard). Japanese Industrial Standards Committee.
- Kamichi, K. (2007). *GlyphWiki: Construction of Wiki System for Kanji Glyph Management [in Japanese]*.
- Karita, T., Sakai, S., Hirabayashi, R., & Nakamura, K. (2010). Trends in Japanese Developmental Dyslexia Research [in Japanese]. *Journal of Developmental Disorder of Speech, Language and Hearing*, 8, 31–45.
- Karow, P. (1994). *Digital Typefaces: Description and Formats*. Springer-Verlag.
- Kato, J. (2016). *Dyslexia Nyumon [in Japanese]*. NIPPON HYORON SHA.
- Kato, J., Ando, H., Hara, K., & Nawate, M. (2016). *ELC: Easy Literacy Check [in Japanese]*. Toshobunka.
- Kessler, B., & Treiman, R. (2015). Writing Systems: Their Properties and Implications for Reading. In A. Pollatsek & R. Treiman (Eds.), *The Oxford Handbook of Reading*. Oxford University Press.
- Knoth, C. (2011). *Computed Type Design* (Master's thesis). École cantonale d'art de Lausanne.
- Knuth, D. E. (1986). *The METAFONTbook*. Addison-Wesley.
- Knuth, D. E. (1999). *Digital Typography*. CSLI Publications.
- Kobayashi, A. (2005). *Obun Shotai: Sono Haikei to Tsukaikata [in Japanese]*. Bijutsu Shuppan-sha.

- Koizumi, H. (2012). *Handbook of Typography for Students and Practitioners [in Japanese]*. Kenkyusha.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2017). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Communications of the ACM*, 60(6), 84–90.
- Kuster, S. M., van Weerdenburg, M., Gompel, M., & Bosman, A. M. T. (2017). Dyslexie Font Does Not Benefit Reading in Children With or Without Dyslexia. *Annals of Dyslexia*.
- Kuwayama, Y. (2020). *Shotai Design [in Japanese]*. Graphic-sha.
- Laurentis, M. S. (1993). *PANOSE 2.0 White Paper*. Retrieved September 20, 2020, from <https://www.w3.org/Fonts/Panose/pan2.html>
- Lawson, A. (1990). *Anatomy of a Typeface*. Hamish Hamilton.
- Lonsdale, M. d. S. (2014). Typographic Features of Text: Outcomes from Research and Practice. *Visible Language*, 48(3), 29–67.
- Lunde, K. (2009). *CJKV Information Processing*. O'Reilly Media.
- Lupton, E. (2010). *Thinking with Type: A Critical Guide for Designers, Writers, Editors, & Students* (2nd ed.). Princeton Architectural Press.
- M+ FONTS PROJECT. (2018). *M+ FONTS*. Retrieved September 26, 2020, from <https://mplus-fonts.osdn.jp/about-en.html>
- Marinus, E., Mostard, M., Segers, E., Schubert, T. M., Madelaine, A., & Wheldall, K. (2016). A Special Font for People with Dyslexia: Does It Work and, If so, Why? *Dyslexia*, 22(3), 233–244.
- Marui, A. (2012). *Scheffe's ANOVA on Paired Comparison (Nakaya Variation)*. Retrieved October 5, 2020, from [https://www.geidai.ac.jp/~marui/r\\_program/scheffe\\_nakaya.html](https://www.geidai.ac.jp/~marui/r_program/scheffe_nakaya.html)
- Matsubara, T., & Kobayashi, Y. (1967). A Study on Legibility of Kana-letters [in Japanese]. *The Japanese Journal of Psychology*, 37(6), 359–363.
- McNeil, P. (2017). *The Visual History of Type*. Laurence King Publishing.
- McQueen, C. D. I., & Beausoleil, R. G. (1993). Infinifont: A Parametric Font Generation System. *Electronic Publishing*, 6(3), 117–132.
- Meek, R. (2020). *FontStruct*. Retrieved October 4, 2020, from <https://fontstruct.com/>
- Mergler, H. W., & Vargo, P. M. (1968). One Approach to Computer Assisted Letter Design. *The Journal of Typographic Research*, 2(4), 299–322.



- Microsoft. (2018). *OpenType Font Variations Overview*. Retrieved October 8, 2020, from <https://docs.microsoft.com/en-us/typography/opentype/spec/otvaroverview>
- Middendorp, J. (2012). *Shaping Text*. BIS Publishers.
- Milne, A. A. (2000). *The House at Pooh Corner [in Japanese]* (M. Ishii, Trans.). Iwanami Shoten.
- Miyazawa, M. (2013). *Shin Jikei To Hitsujun [in Japanese]*. Mitsumura Tosho Shuppan.
- Mizumoto, A., & Takeuchi, O. (2008). Basics and Considerations for Reporting Effect Sizes in Research Papers. *Study in English Language Teaching*, 31, 57–66.
- Morisawa. (2020). *Mini Set*. Retrieved September 26, 2020, from <https://www.morisawa.co.jp/culture/dictionary/1944>
- Morse, D. T. (1999). Minsize2: A Computer Program for Determining Effect Size and Minimum Sample Size for Statistical Significance for Univariate, Multivariate, and Nonparametric Tests. *Educational and Psychological Measurement*, 59(3), 518–531.
- Nakagawa, K., Suda, T., Zempo, H., & Matsumoto, K. (2001). The Development of Questionnaire for Evaluating Web Usability [in Japanese]. *Proceedings of Human Interface Symposium*, 421–424.
- Natsume, S. (1962). *Wagahai Wa Neko De Aru [in Japanese]*. Kadokawa Shoten.
- Natsume, S. (2011). *I Am a Cat* (A. Ito & G. Wilson, Trans.). Tuttle Publishing.
- Noordzij, G. (2005). *The Stroke: Theory of Writing* (P. Enneson, Trans.). Hyphen Press.
- Noutahi, E. (2018). *Fisher's Exact Test for MxN Contingency Table*. Retrieved October 10, 2020, from <https://zenodo.org/record/2587757>
- Oda, K. (1999). *MNREAD-J*. Retrieved October 5, 2020, from <https://www.cis.twcu.ac.jp/~k-oda/MNREAD-J/>
- Okada, A. (1970). *Yoji No Moji No Ninchi No Ayamari Ni Tsuite [in Japanese]*. *Annual Convention of the Japanese Association of Educational Psychology*, (12), 24–25.
- Okubo, M., & Okada, K. (2012). *Psychological Statistics to Tell Your Story: Effect Size, Confidence Interval, and Power [in Japanese]*. Keiso Shobo.
- Okumura, T., Kawasaki, A., Nishioka, Y., Wakamiya, E., & Miura, T. (2014). *Comprehensive Assessment of Reading Domains Guidebook [in Japanese]*. Springs.
- Okumura, T., Miura, T., Nakanishi, M., Tominaga, E., Wakamiya, E., & Tamai, H. (2018). Subjective Impression of Readability with UD Digital Font: A Pilot Study

- with Elementary School Children Who Have Reading and Writing Difficulty [in Japanese]. *Japanese Journal of Ophthalmic Science and Technology*, 21(2), 21–24.
- Ong, W. J. (2002). *Orality and Literacy: The Technologizing of the Word*. Routledge.
- Ookuma, H. (2007). *Jitai No Hensen* [in Japanese]. *Kumihan/Typography No Kairou* [in Japanese]. Hakujun-sha.
- Perez, L., & Wang, J. (2017). *The Effectiveness of Data Augmentation in Image Classification using Deep Learning*. arXiv: 1712.04621 [cs.CV].
- Pijpker, T. (2013). *Reading Performance of Dyslexics with a Special Font and a Colored Background* (Master's thesis). University of Twente.
- Pohlen, J. (2015). *Letter Fountain*. Taschen.
- Powell, S. (2017). *The Effect of a Font Intervention for 4th and 5th Graders with Dyslexia* (Master's thesis). James Madison University.
- Puertas, C. (2013). *Algorhythm for the Assessment of Text Typefaces Using Design Parameters*. Retrieved September 21, 2020, from <https://www.atypi.org/conferences/amsterdam-2013/amsterdam-programme/activity?a=276>
- Ramus, F. (2003). Developmental Dyslexia: Specific Phonological Deficit or General Sensorimotor Dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology*, 13(2), 212–218.
- Rayner, K., Pollatsek, A., Ashby, J., & Clifton, C. J. (2012). *Psychology of Reading*. Psychology Press.
- Rello, L., & Baeza-Yates, R. (2016). The Effect of Font Type on Screen Readability by People with Dyslexia. *ACM Transactions on Accessible Computing*.
- Rickner, T. (2016). *Part 1: From TrueType GX to Variable Fonts*. Retrieved October 10, 2020, from <https://www.monotype.com/jp/node/1551>
- Ruggles, L. (1983). *Letterform Design Systems* (tech. rep.). Stanford University.
- Sainio, M., Hyönä, J., Bingushi, K., & Bertram, R. (2007). The Role of Interword Spacing in Reading Japanese: An Eye Movement Study. *Vision Research*, 47(20), 2575–2584.
- Samara, T. (2011). *Typography Workbook: A Real-World Guide to Using Type in Graphic Design*. Rockport Publishers.
- Sander, L. (2015). *Robofab Pens*. Retrieved October 7, 2020, from <https://github.com/loicsander/RobofabPens/>

- Satake, H. (1982). On the Frequency Ratio of Kinds of Letters in All Sorts of Sentence [in Japanese]. *The National Language Research Institute Research Report*, 71(3), 327–346.
- Sato, H. (2015). Do Different Orthographies Share the Same Mechanisms of Reading? *Aphasiology*, 29(10), 1189–1218.
- Sato, K. (1964). *Hiragana I* [in Japanese]. Maruzen.
- Sato, K. (1965). *Hiragana II* [in Japanese]. Maruzen.
- Sato, K. (1966). *Katakana* [in Japanese]. Maruzen.
- Sato, K. (1973). *Kanji I* [in Japanese]. Maruzen.
- Sato, K. (1976). *Kanji II* [in Japanese]. Maruzen.
- Schneider, U. (1998). DaType: A Stroke-Based Typeface Design System. *Computers and Graphics*, 22(4), 515–526.
- Schulz, F. (2017). *The Anatomy of a Thousand Typefaces*. Retrieved September 21, 2020, from <https://useratio.com/the-anatomy-of-a-thousand-typefaces/>
- Seifert, G., & Scheichelbauer, R. E. (2020). *Glyphs*. Retrieved September 23, 2020, from <https://glyphsapp.com/>
- Shamir, A., & Rappoport, A. (2006). Feature-Based Design of Fonts Using Constraints. *Lecture Notes in Computer Science*, 1375, 93–108.
- Shinagawa, Y. (2011). *Namakete Nanka Nai* [in Japanese]. Iwasaki Shoten.
- SIL. (2007). *SIL Open Font License*. Retrieved September 26, 2020, from [https://scripts.sil.org/cms/scripts/page.php?item\\_id=OFL\\_web](https://scripts.sil.org/cms/scripts/page.php?item_id=OFL_web)
- Smeijers, F. (2011). *Counterpunch*. Hyphen Press.
- Smythe, I. (2010). *Dyslexia in the Digital Age: Making IT Work*. Continuum.
- Smythe, I., Everatt, J., & Salter, R. (Eds.). (2005). *The International Book of Dyslexia: A Guide to Practice and Resources*. John Wiley & Sons.
- Spiekermann, E. (2014). *Stop Stealing Sheep & Find Out How Type Works* (3rd ed.). Adobe Press.
- Stein, J. (2008). The Neurobiological Basis of Dyslexia. In G. Reid, A. J. Fawcett, F. Manis, & L. S. Siegel (Eds.), *The SAGE Handbook of Dyslexia* (pp. 53–76). SAGE Publications.
- Stein, J., & Walsh, V. (1997). To See but Not to Read: The Magnocellular Theory of Dyslexia. *Trends in Neurosciences*, 20(4), 147–152.

- Tanaka, T. (1992). *Making Kanji Skeleton Fonts through Compositing Parts [in Japanese]* (Doctoral dissertation). The University of Tokyo.
- Tani, N., Goto, T., Uno, A., Uchiyama, T., & Yamanaka, T. (2016). The Effects of Font Type on Reading Aloud in Japanese-Speaking Children with Developmental Dyslexia [in Japanese]. *The Japan Journal of Logopedics and Phoniatics*, 57(2), 238–245.
- Tarumoto, T. (2014). *Usability Engineering [in Japanese]* (2nd ed.). Ohmsha.
- Tokui Teki Hattatsu Shogai No Rinsho Shindan to Chiryō Shishin Sakusei Nikansuru Kenkyū Team. (2010). *Tokui Teki Hattatsu Shogai: Shindan Chiryō No Tame No Jissen Guideline [in Japanese]*. SHINDAN TO CHIRYO SHA.
- The Unicode Consortium. (2020). *Glossary of Unicode Terms*. Retrieved September 17, 2020, from <https://www.unicode.org/glossary/>
- Torinoumi, O. (2016). *Moji Wo Tsukuru Shigoto [in Japanese]*. Shobunsha.
- Tracy, W. (2003). *Letters of Credit*. David R. Godine.
- Uno, A., Haruhara, N., Kaneko, M., & Wydell, T. N. (2017). *Standardized Test for Assessing the Reading and Writing (Spelling) Attainment of Japanese Children and Adolescents [in Japanese]*. Interuna Publishers.
- Uno, A., Wydell, T. N., Haruhara, N., Kaneko, M., & Shinya, N. (2009). Relationship Between Reading/Writing Skills and Cognitive Abilities among Japanese Primary-school Children: Normal Readers Versus Poor Readers (Dyslexics). *Reading and Writing*, 22(7), 755–789.
- Vakulenko, S. (2003). The Metatype Project: Creating TrueType Fonts Based on METAFONT *TUGboat*, 24(3), 569–574.
- van Rossum, J., van Blockland, E., & Berlaen, F. (2020). *DrawBot*. Retrieved September 23, 2020, from <https://www.drawbot.com/>
- van Rossum, J., van Blockland, E., & Leming, T. (2020). *Unified Font Object*. Retrieved October 4, 2020, from <https://unifiedfontobject.org/>
- Vellutino, F. R., & Fletcher, J. M. (2005). Developmental Dyslexia. In M. J. Snowling & C. Hulme (Eds.), *The Science of Reading: A Handbook* (pp. 362–378). Blackwell Publishing.
- Wery, J. J., & Diliberto, J. A. (2017). The Effect of a Specialized Dyslexia Font, OpenDyslexic, on Reading Rate and Accuracy. *Annals of Dyslexia*, 67(2), 114–127.

- Wolf, M. (2007). *Proust and the Squid*. HarperCollins.
- Wydell, T. N., & Butterworth, B. (1999). A Case Study of an English-Japanese Bilingual with Monolingual Dyslexia. *Cognition*, 70(3), 273–305.
- Yamamoto, K. R. (2003). *Development of Kana Typeface Generated Using Stroke Data for Print Media [in Japanese]* (Master's thesis). Keio University.
- Yamamoto, M. (2010). Objective Evaluation of Legibility and Readability in Typography [in Japanese]. *Special Issue of Japanese Society for the Science of Design*, 17-2(66), 68–73.
- Young, D. (1999). *Fonts & Logos*. Delphi Press.
- Zhu, X., & Kageura, K. (2019). Research on Japanese Typefaces and Typeface Customisation System Designed for Readers with Developmental Dyslexia. *Proceedings of International Association of Societies of Design Research Conference*, 1–14.
- Zhu, X., Kageura, K., & Sato, S. (2020). Analysis of Typefaces Designed for Readers with Developmental Dyslexia: Insights from Neural Networks. In X. Bai, D. Karatzas, & D. Lopresti (Eds.), *DAS 2020: Document Analysis Systems* (pp. 529–543). Springer.
- Ziegler, J. C., & Goswami, U. (2005). Reading Acquisition, Developmental Dyslexia, and Skilled Reading Across Languages: A Psycholinguistic Grain Size Theory. *Psychological Bulletin*, 131(1), 3–29.
- Zikl, P., Bartošová, I. K., Víšková, K. J., Havlíčková, K., Kučírková, A., Navrátilová, J., & Zetková, B. (2015). The Possibilities of ICT Use for Compensation of Difficulties with Reading in Pupils with Dyslexia. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 176, 915–922.