一般社団法人 電子情報通信学会
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS,
INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

信学技報
IEICE Technical Report

紙ノートとタブレット端末の使用が学習時の認知負荷に及ぼす影響
－脳波を用いた検討－

波多野 文† 関根 崇泰† 箆伊 智充† 井原 なみは†

田中 裕子‡ 村上 智子‡ 衣川 忍‡ 入戸野 宏§

†株式会社センタン 〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 2-1-5
‡コクヨ S&T 株式会社 〒537-8686 大阪府大阪市東成区大今里南 6-1-1
§広島大学大学院総合科学研究科 〒739-8521 広島県東広島市鏡山 1-7-1

E-mail: †hatano@centan.jp

あらまし 本研究の目的は，学習時に紙ノートを用いた場合とタブレット端末を用いた場合に，認知負荷が異なるかを検討することである．これまで，文章読解やノートまとめにおいて，電子デバイス（電子書籍，ノートパソコンなど）に対する紙ノートの優位性を示す研究が報告されている．しかし，タブレット端末に書くときと紙ノートに書くときの認知過程について調べた研究は少ない．本実験では高校生 12 名を対象に，朗読文の聞き取り時に紙ノート/タブレット端末によるノートまとめ作業を実施し，作業中の脳波を 14 チャンネルの簡易型脳波計を用いて計測した．その結果，タブレット端末では紙ノートに比べて，書き取り中の前頭部シータ帯域パワー（4-7Hz）が高かった．タブレット端末は紙ノートに比べて，書いた文字を確認することに認知的努力を要し，書字行動そのものに注意を奪われやすい傾向があることが明らかになった．

キーワード 認知負荷，学習，脳波，前頭部シータ帯域活動

Effects of the use of paper notebooks and tablet devices on cognitive load in learning
－An Electroencephalographic (EEG) study－

Aya HATANO† Takayasu SEKINE† Tomomitsu HERAI† Namiha IHARA†

Yuko TANAKA‡ Satoko MURAKAMI‡ Shinobu KINUGAWA‡ and Hiroshi NITTONO§

†Centan Inc. 2-1-5, Iidabashi, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-0072 Japan
‡KOKUYO S&T Co., Ltd. 6-1-1 Oimazato-minami, Higashinari-ku, Osaka, 537-8686 Japan
§Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University 1-7-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 739-8521 Japan

E-mail: †hatano@centan.jp

Abstract The purpose of this study is to examine whether the cognitive load placed when writing on paper notebooks differs from that placed when writing on tablet devices. Previous studies have shown the superiority of paper in reading, learning, and writing. However, the effects on cognitive processes of writing on paper or tablet devices have not been examined. Twelve high-school students participated in an experiment in which they were asked to perform note-taking tasks on paper or on a tablet device while listening to scientific lessons. Electroencephalogram (EEG) was recorded from 14 scalp sites using a portable device. The results showed that the power of the frontal theta activity (4-7 Hz) during the note-taking tasks was higher in the tablet device condition than in the paper condition. Compared with writing on paper notebooks, writing on tablet devices may require more cognitive effort to monitor and check handwriting and distract from attention that should be allocated to the processing of content learning.

Keywords cognitive load, learning, electroencephalogram (EEG), frontal theta activity

This article is a technical report without peer review, and its polished and/or extended version may be published elsewhere.
Copyright ©2015 by IEICE

1. 序論

近年，タブレット端末を教科書の代わりに利用するなど,学習場面での需要が高まっている.それに伴い，タブレット端末が，紙ノートや教科書に取って代わった時に，どのような問題が起こりうるのか，タブレット端末の使用と，紙ノート・教科書の使用が我々の学習や理解に異なる影響を与えているかを検討する必要性が高まっている．本研究は，紙ノート上の書字行動と，タブレット端末上の書字行動が朗読文の学習と理解に与える影響を調べ，紙ノートでの書字行為とタブレット端末での書字行為の違いを明らかにすることを目的とした.

これまでにも，電子デバイスと紙デバイスの使用が文章理解や記憶に与える影響を調べた研究において，紙ノートの優位性が指摘されている．例えば，Noyes and Garland[1]は，PC のディスプレイに表示された文章を読む場合と,紙に印字された文章を読む場合とで,文章の理解度，読む速さ，知識の定着度を比較した．その結果，理解度や読む速さにデバイスの違いは観察されなかったが,知識の定着は紙条件の方が高かった．他にも，内容理解[2]や理解効率[3]，メタ認知[4]において，紙が電子デバイスよりも優れているとする結果が報告されている.

また,“読み”だけでなく,“書き”行動についても，紙の優位性を示す知見が報告されている．Mueller and Oppenheimer[5]は，大学生を参加者とし，ラップトップコンピュータを用いて授業内容をメモした場合と，紙ノートを用いた場合とで，記憶テストと理解度テストの結果を比較した．その結果，ラップトップコンピュータを用いてメモを取った場合のほうがメモの量が多く，記憶テストでは両者の間に大きな違いは観察されなかった．しかし，理解度テストの成績はラップトップコンピュータよりも紙ノートのほうが高かった．この結果から，著者らは，紙ノートは一度にメモを取る量が限られており，情報を自分なりに要約してメモを取る必要があるため，授業内容に対してより深い処理がなされ，結果として理解度も高かったと結論づけている.

以上のように，先行研究では電子デバイスに対する紙ノートの優位性を示唆する結果が観察されている．しかしながら，これまでの研究は“書き”と“タイピング”との比較や,デジタル呈示と紙呈示での“読み”の比較が主であり，タブレット端末に文字を“書く”行動が，紙ノートへの書字行動と比較された研究は少ない.

そこで，本研究では，高校生を対象として，タブレット端末と紙ノートに書く行為が，学習者の認知や行動に及ぼす影響を検討した．具体的には，参加者に数分間の朗読文を聞かせ，タブレット端末，紙ノートいずれかにメモ書き・ノートまとめを行わせた．メモ書き中とノートまとめ中の脳波を測定し比較した．デバイスが学習に及ぼす影響を検討するため，作業に対する認知負荷や集中の程度を反映するとされるシータ帯域パワーに注目した[6]–[8]．また，学習後に記憶テストと理解度テストを実施し，タブレット端末で学習した場合と，紙ノートで学習した場合とで成績の比較を行った．最後に，メモ書きに向けられる注意の程度を比較するために，学習音声を聞いてメモ書きをしながら，それとは関係しないプローブ音に反応させる二重課題を実施し，反応時間を計測した.

2. 方法

2.1 実験計画

1 要因参加者内計画で実施した．参加者は，タブレット条件，紙ノート条件両方に参加した.

2.2 参加者

高校生 12 名（男性 3 名，女性 9 名，全員 16 歳）が参加した．彼らはスマートフォンと PC の使用歴があり，平均程度の学力を有していた．参加者の募集は，日本マーケティングリサーチ協会が定める規定に従って実施し,全員からインフォームドコンセントを得た.

2.3 材料

2.3.1 刺激

心理学において扱われる一般的な現象を説明する朗読文を用いた．音声による呈示を採用したのは，情報が知覚される状況を紙ノートとタブレットで統一させるためである．学習内容を心理学に関係するものにしたのは，高校生にとって馴染みのないトピックを学習させるためである．刺激音声は学習用に 2 種類（ステレオタイプ，同調），二重課題用に 2 種類（単純接触効果，偽りの記憶）用意した．呈示時間は，学習用音声が約 8 分，二重課題用音声が約 3 分であった．いずれの条件でいずれの刺激音声が呈示されるか，どちらの条件を先に実施するかは参加者間でカウンターバランスを取った.

2.3.2 脳波測定機器

簡易型脳波計 Emotiv EPOC（Emotiv, Inc.）を用いた．Emotiv は，国際 10-20 法に基づく頭皮上 14 箇所の電極（AF3, AF4, F3, F4, F7, F8, FC5, FC6, P7, P8, T7, T8, O1, O2）から脳波を取得できる携帯型脳波計である．サンプリングレートは 128 Hz であった．脳波は P3 と P4 に置かれた CMS（Common Mode Sense）電極と DRL（Driven Right Leg）電極に基づいて計測した．脳波データが安定して取得できるようになるまで電極装着の

微調整を行った．

2.3.3　タブレット端末

タブレット端末は，REGZA Tablet AT703（東芝製）を使用し，学習のメモ書き用には，付属のタッチペンと専用手書きノートアプリ（TruNote）を使用した．

2.3.4　紙ノート

紙ノートは，キャンパスノート A 罫（コクヨ S&T 製）を使用した．大きさは，タブレット端末の大きさに合わせ，3 号（A5）を使用した．タブレット端末のノートアプリに対応させて，シャープペンシル，赤色ペン，蛍光黄緑のマーカー，消しゴムを筆記具として使用した．希望する参加者には，透明色の下敷きも提供した．

2.4　手続き

参加者は 6 日もしくは 7 日空けて 2 回の測定に参加した．同意書に記入後，参加者は実験の流れについて説明を受けた．タブレット条件では，タブレットの使い方についての説明を受け，練習する時間を 15 分間程度とった．

練習後，音声が呈示されるイヤホンと脳波計を参加者に装着した．装着が完了した後，1 分間安静状態で過ごした後に，朗読文が呈示された．朗読文の呈示中，参加者はタブレット端末もしくは紙ノートに朗読内容のメモ書きを行い，朗読文終了後は 5 分間ノートまとめを行った．ノートまとめでは，参加者は自分のメモを見返して，自分の行いやすい方法で朗読内容をまとめるよう求められた．

学習後，5 分間課題に無関係の動画を呈示した後，記憶テスト，理解度テストを実施した．記憶テストは文章の穴埋め問題で，表層的な記憶を問う問題であった．理解度テストは，朗読文の内容に対するより深い理解を問う問題であった．テストの制限時間は記憶・理解合わせて 10 分間であった．

テスト終了後，二重課題を実施した．参加者は，朗読文の内容を書き取りながら，それと並行してランダムな間隔に呈示されるビープ音に反応してボタンを押すように求められた．あらかじめ数分間ビープ音への反応を練習した．ビープ音は 20 回呈示された．反応はメモを取っていない方の手で行った．二重課題終了後，事後アンケートに回答し，実験は終了した．事後アンケートにおいては，朗読文への興味，難易度，朗読文の理解度，理解度テストの難易度，メモ書きのやりやすさに対する評価を 6 段階（1：まったくそう思わない～6：とてもそう思う）で評定させた．1 回の測定にかかった時間は，一人あたり約 80 分であった．

2.5　脳波解析

脳波ローデータは 1 - 35 Hz の FIR バンドパスフィルタ(235 ポイント，カイザー窓，sinc FIR フィルタ，遷移帯域幅 = 2 Hz)をかけた後，解析区間を抽出した．その後，独立成分分析とウェーブレット解析を用いてアーチファクトを除去し，全電極を用いて平均基準で再基準化を行った．再基準化する際，計測時に不良電極があった場合はその電極を除いて再基準化を行った．除外したのは，3 名の 1 度目の計測データにおける，1–2 電極であった．

次に各電極のデータに対して短時間フーリエ変換(フーリエ変換にかける区間は 2 秒間，オーバーラップ 1 秒，ハミングウィンドウを使用)をかけてスペクトログラムを作成し，パワー値を自然対数変換した．この際，±80 μV 以上の値を持つ電極があった区間（2 秒間）のデータは以後の分析から除外した．

次に各区間のパワースペクトルでのシータ帯域(4–7 Hz)に含まれる値を平均してシータ帯域パワー時系列を算出した後，前頭部の電極(AF3, F7, F3, FC5, FC6, F4, F8, AF4)の平均値を計算し前頭部シータ帯域パワーを算出した．この際，計測時に不良電極があった場合はその電極を除外した．朗読文呈示中（7 分 40 秒間），ノートまとめ中（5 分間），二重課題中（2 分 20 秒間）それぞれのシータ帯域パワーの平均値を算出した．

3. 結果

3.1　主観評価

事後アンケートの評定値の平均値を表 1 に示す．朗読文への興味，朗読文の難易度，理解度テスト，二重課題の難易度，紙ノート条件とタブレット条件で大きな違いは観察されなかった．ノートとタブレットに書いた自分の文字については，タブレットの文字に対してより不満を持つ傾向が認められた．ノートのページめくりについても，タブレットでの不満が紙ノートよりも強くなる傾向があった．

3.2　学習中脳波

図 1 に，朗読文呈示中の前頭部シータ帯域パワーの時系列変化を示す．次に，学習用朗読文呈示中（7 分 40 秒間）と，ノートまとめ中（5 分間）の前頭部シータ帯域パワーの平均値を図 2，図 3 に示す．朗読文呈示中は，紙ノート条件と比較して，タブレット条件の方がシータ帯域パワーが高かった．対応のある t 検定を行ったところ，紙ノート条件に比べ，タブレット条件の方が有意に高いという結果となった（$t(11) = 3.01$, $p = .011$，両側検定）．ノートまとめ中についても，紙ノート条件と比較して，タブレット条件のほうがシータ帯域パワーが高い傾向が認められた（$t(11) = 1.81$, $p = .098$，両側検定）．

3.3　テスト成績

理解度テスト，記憶テストともに，2 名の採点者が模範回答にもとづいて採点を行ったところ，採点内容に充分な一貫性が確認された（$kappa = 0.847$）．採点が一致しない箇所については，両者で協議して決めた．朗読文の内容によって難易度に差があったため，各参加者の得点を標準化し，各条件の平均値を算出した（図 4）．理解度得点，記憶得点ともに，条件による有意な差は観察されなかった（理解度：t (11) = 0.43, p = .675, 記憶度：t (11) = 0.23, p = .770，両側検定）．

表 1. 紙ノート使用時とタブレット端末使用時の主観評価（12 名の参加者の平均値）

	紙ノート		タブレット			
	平均	*SD*	平均	*SD*	*t* (11)	*p*
朗読文への興味	4.25	1.06	4.50	1.09	−0.76	0.463
朗読文の難易度	4.00	0.85	4.08	0.67	−0.32	0.754
朗読内容の理解	4.42	0.90	4.42	0.79	0.00	1.000
記憶度テストの難易度	3.92	0.79	4.42	0.79	−1.39	0.191
理解度テストの難易度	4.42	0.90	4.58	0.90	−0.56	0.586
二重課題の難易度	4.33	0.98	4.50	1.00	−0.52	0.615
書いた文字が思い通りに表示されているか確認しながら書いた	3.25	1.36	3.75	1.54	−1.73	0.111
書いた文字が読めるかどうか確認しながら書いた	3.58	1.31	4.00	1.41	−1.16	0.269
メモ書きした自分の文字が読みづらかった	3.33	0.89	4.42	1.24	−2.24	0.047
メモ書きした複数のページを見返しにくかった	2.58	0.79	4.67	1.07	−6.66	<.001

*t値は全て対応のあるt検定の値(両側検定)．括弧内は自由度

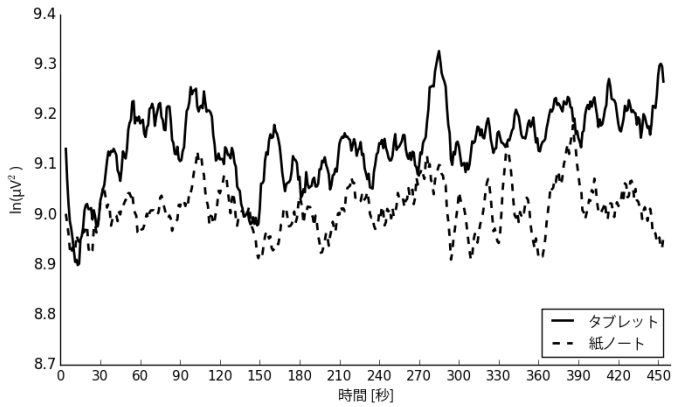

図 1. 朗読文呈示中の前頭部シータ帯域パワー（12 名の参加者の平均値）

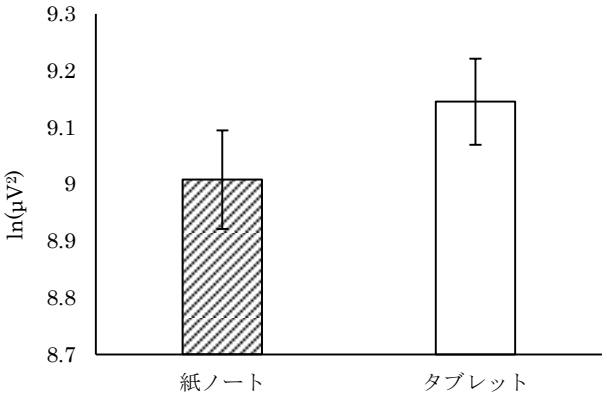

図 2　朗読文呈示中の前頭部シータ帯域パワー（N = 12）．バーは標準誤差．

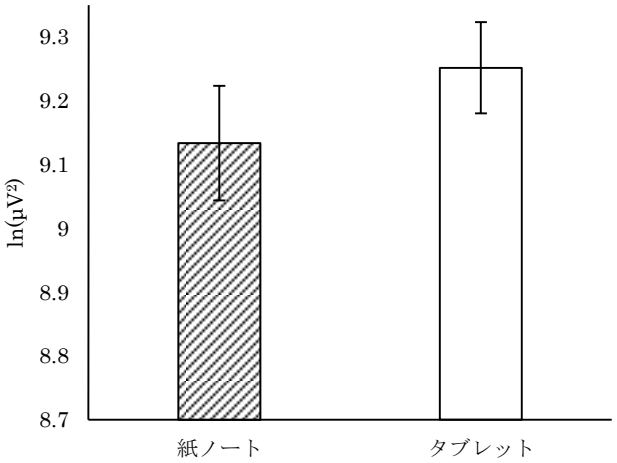

図 3　ノートまとめ中の前頭部シータ帯域パワー（N = 12）．バーは標準誤差．

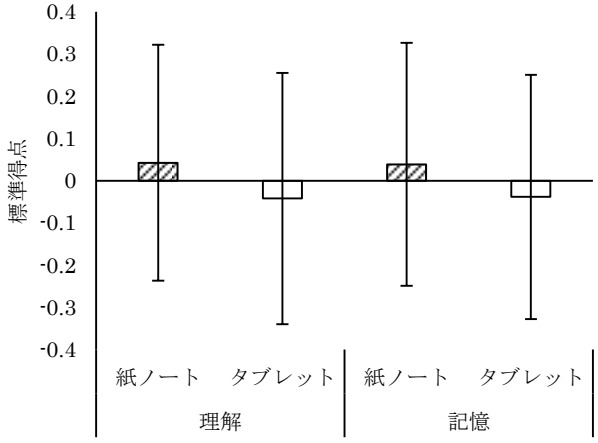

図 4　理解度テスト，記憶テストの成績（N = 12）．バーは標準誤差．

3.4　二重課題

3.4.1　プローブ音に対する反応時間

プローブ音に対する反応時間は，100 ms 以下の試行を尚早反応として除外し（除外したのは参加者 1 名の試 1 行分のみ），二重課題遂行中の平均値と反応が遅い方から 30%の反応時間の平均値を算出した（図 4，図 5）．反応が遅い方から 30%の平均値において，タブレットのほうが紙ノートよりも反応時間が遅くなる傾向が観察されたが，いずれも有意ではなかった（平均：t (11) = -1.03, p = .324，遅い方から 30%：t (11) = -1.55, p = .150，両側検定）．

3.4.2　前頭部シータ帯域パワー

二重課題中の前頭部シータ帯域パワーの平均値を図 6 に示す．朗読文呈示中と同じく，タブレット条件のほうが紙ノートに比べて前頭部シータ帯域パワーが高かった（t (11) = 2.56, p = .027，両側検定）．

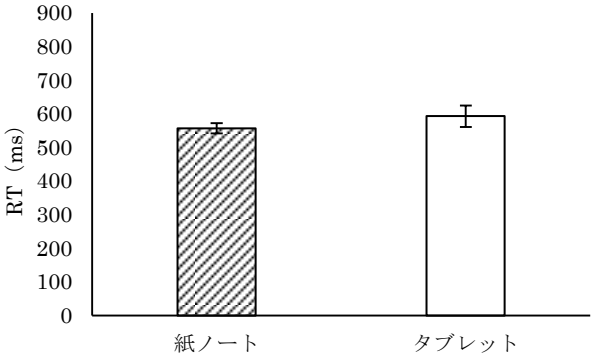

図 5　プローブ音に対する反応時間の平均値（N = 12）．バーは標準誤差．

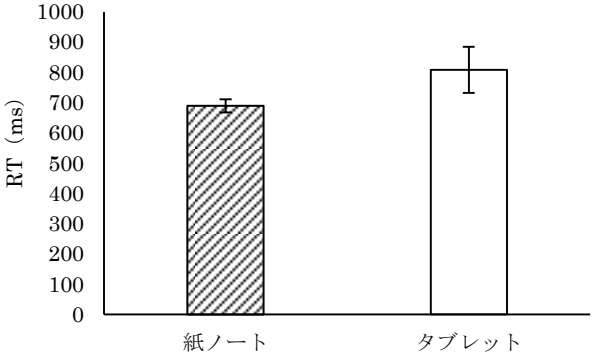

図 6　プローブ音に対する反応時間（反応が遅い方から 30%）の平均値（N = 12）．バーは標準誤差．

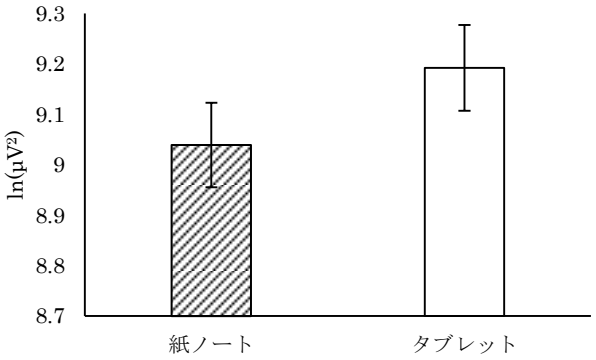

図 7　二重課題中の前頭部シータ帯域パワーの平均値（N = 12）．バーは標準誤差．

4. 考察

本研究の目的は，タブレット端末への書字行動と，紙ノートへの書字行動が，学習時の認知過程に及ぼす影響を検討することであった．この目的を達するため，参加者に朗読文を呈示し，内容をタブレットもしくは紙ノートにメモ書きさせ，学習中の脳波を測定した．また，メモ書きに向けられる注意の程度を比較するために，メモ書きをしながらプローブ音に反応する二重課題を課し，反応時間と脳波を比較した．その結果，記憶テストと理解度テストの成績にデバイスによる差はなかったものの，朗読文呈示中，すなわち，メモ書きをしている間の前頭部シータ帯域パワーは，学習時と二重課題時ともに紙ノートよりもタブレット使用時で高まる傾向が観察された．また，有意差はないものの，二重課題のプローブ音に対する反応が，タブレットにおいて遅れる傾向も観察された．

シータ帯域パワーは，脳が何らかの情報処理を行っている，すなわち，認知負荷がかかった状態で高まることが知られている[6]–[8]．紙ノート条件に比べてタブレット条件で前頭部シータ帯域パワーが高まったという本実験の結果は，紙ノート条件に比べて，タブレット条件でメモ書き時の認知負荷が高い状態であったと解釈することができる．事後アンケートにおいて，参加者はタブレット条件においてより自分の書いた文字を見返したと回答している．このことから，参加者はタブレット端末に文字を書く際に，文字がきちんとかけているか，すなわち，タブレットが書いた文字を正しく認識しているかという，視覚フィードバックの行いやすさに対して不満や違和感を抱いていた可能性が高い．一つ一つ書いた文字がタブレット端末に認識されているかを確かめながら書くことで，紙ノートに比べて認知負荷が高まり，前頭部シータ帯域パワーが相対的に高まったと考えられる．二重課題時のプロー

ブ音に対する反応がタブレット条件で遅くなる傾向があったことと合わせると，タブレット端末に文字を書くことは，紙ノートに文字を書くことに比べて，書字行為そのものに注意が向けられてしまうと考えられる．

Mueller and Oppenheimer[5]では，理解度テストにおいて紙ノートの優位性が示されていたが，本実験では有意差は得られなかった．この要因として考えられるのは，朗読文やテストの難易度が低く，タブレット条件においてメモ書きに集中を奪われていたとしても紙ノートと同程度の水準で解答できた可能性である．また，本実験では，8 分間と比較的短い朗読文であったため，理解に差が生じるほどの負荷を参加者にあたえることができていなかった可能性がある．学習が長時間にわたる場合や，複数の課題を同時にこなす必要が生じた場合，理解度テストなどの行動指標についても紙ノートとタブレットに違いが生じるかもしれない．

本実験により，おなじ”書く”という行動であっても，書く対象が紙であるか，タブレット端末であるかによって学習中の前頭部シータ帯域パワーが異なり，タブレット端末のほうが紙ノートに比べて認知負荷が高い可能性が示された．本実験で観察された差異が，実際の理解度や記憶しやすさ，疲労などに影響を及ぼすのか，また，これらの差異がタブレット端末の長期使用によって消失するかについて，さらなる検討が必要である．

文　献

[1] J. Noyes and K. Garland, “VDT versus paper-based text: Reply to Mayes, Sims and Koonce,” *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 31, no. 6, pp. 411–423, 2003.

[2] A. Mangen, B. R. Walgermo, and K. Brønnick, “Reading linear texts on paper versus computer screen: Effects on reading comprehension,” *Int. J. Educ. Res.*, vol. 58, pp. 61–68, 2013.

[3] M. Kerr and S. Symons, “Computerized presentation of text: Effects on children’s reading of informational material,” *Read. Writ.*, vol. 19, no. 1, pp. 1–19, 2006.

[4] R. Ackerman and M. Goldsmith, “Metacognitive regulation of text learning: on screen versus on paper.,” *J. Exp. Psychol. Appl.*, vol. 17, no. 1, pp. 18–32, 2011.

[5] P. Mueller and D. Oppenheimer, “The pen is mightier than the keyboard: Advantages of longhand over laptop note taking.,” *Psychol. Sci.*, vol. 25, no. 6, pp. 1159–1168, 2014.

[6] G. Borghini, G. Vecchiato, J. Toppi, L. Astolfi, A. Maglione, R. Isabella, C. Caltagirone, W. Kong, D. Wei, Z. Zhou, L. Polidori, S. Vitiello, and F. Babiloni, “Assessment of mental fatigue during car driving by using high resolution EEG activity and neurophysiologic indices,” *Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS*, vol. 70, no. cm, pp. 6442–6445, 2012.

[7] J. Anguera, J. Boccanfuso, J. Rintoul, O. Al-Hashimi, F. Faraji, J. Janowich, E. Kong, Y. Larraburo, C. Rolle, E. Johnston, and A. Gazzaley, “Video game training enhances cognitive control in older adults.,” *Nature*, vol. 501, no. 7465, pp. 97–101, 2013.

[8] A. Gevins, M. Smith, L. McEvoy, and D. Yu, “High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: Effects of task difficulty, type of processing, and practice,” *Cereb. Cortex*, vol. 7, no. 4, pp. 374–385, 1997.

謝　辞

本研究は，コクヨ S&T 株式会社が株式会社センタンに委託して実施した．