

研究科	情報理工学研究科
専攻	情報・通信工学専攻
氏名	宮杉 柁行
学籍番号	1531099
論文題目	MMVR: ジェスチャを利用した仮想空間上での多人数向け マインドマップツールの実装と評価
要旨	<p>本研究では、発想法の1つであるマインドマップ(以下MM)を多人数で効率よく扱うため、ヘッドマウントディスプレイ(以下HMD)とハンドジェスチャを用い、バーチャルリアリティ(以下VR)空間で行うシステム「MMVR」を提案、作成し、その有用性を評価実験を通じ評価した。MMとは発想の中心となるキーワードや画像等を中央に置き、キーワードやキーイメージが付随したブランチを放射状に伸ばしていく事によって発想を促す方法である。MMは紙上の他ディスプレイ上でも行われるが、作業空間に限られる。そこでVR空間の広大な作業領域を取り入れることでより効率的な作業が可能か、さらにその操作にハンドジェスチャという直接操作がどれほど有効に行えるかの調査を目的とした。本研究では二次元的な画面表示だけでなく、三次元情報や手による直接的なジェスチャ、加えて複数人で机を囲んで行う作業を実現し、更なる想起を促す事を目的としたMM支援システムを作成した。結果として、個人でMMを行う際は既存のソフトウェアであるiMindMapに比べキーイメージの作成時間が短縮され、また二人で既存のMM支援ソフトウェアとMMVRを使う場合どちらのほうが総合的に考え使いやすいか実験を通じ尋ねた所、被験者全員から本研究で作成したMMVRの方が使いやすいという回答が得られた。</p>

平成 29 年度 情報・通信工学専攻 修士論文

MMVR: ジェスチャを利用した仮想空間上での  
多人数向けマインドマップツールの実装と評価

電気通信大学大学院

情報理工学研究科

情報・通信工学専攻

コンピュータサイエンスコース

学籍番号 : 1531099  
氏名 : 宮杉 柁行  
主任指導教員 : 中山 泰一 准教授  
指導教員 : 寺田 実 准教授  
提出日 : 平成 29 年 7 月 28 日

## 概要

本研究では、発想法の1つであるマインドマップ(以下MM)を多人数で効率よく扱うため、ヘッドマウントディスプレイ(以下HMD)とハンドジェスチャを用い、バーチャルリアリティ(以下VR)空間で行うシステム「MMVR」を提案、作成し、その有用性を評価実験を通じ評価した。

MMとは発想の中心となるキーワードや画像等を中央に置き、キーワードやキーイメージが付随したブランチを放射状に伸ばしていく事によって発想を促す方法である。MMは紙上の他ディスプレイ上でも行われるが、作業空間に限られる。そこでVR空間の無限な作業領域を取り入れることでより効率的な作業が可能か、さらにその操作にハンドジェスチャという直接操作がどれほど有効に行えるかの調査を目的とした。

本研究では二次元的な画面表示だけでなく、三次元情報や手による直接的なジェスチャ、加えて複数人で机を囲んで行う作業を実現し、更なる想起を促す事を目的としたMM支援システムを作成した。

結果として、個人でMMを行う際は既存のソフトウェアであるiMindMapに比べキーイメージの作成時間が短縮され、また二人で既存のMM支援ソフトウェアとMMVRを使う場合どちらのほうが総合的に考え使いやすいか実験を通じ尋ねた所、被験者全員から本研究で作成したMMVRの方が使いやすいという回答が得られた。

## 目次

1	はじめに	4
2	関連研究	5
2.1	マインドマップ	5
2.2	マインドマップの効果と重要性	5
2.3	複数人でマインドマップを行う重要性	6
2.4	VR空間とハンドジェスチャを使用した操作	7
2.5	マインドマップ支援の既存ソフトウェア	7
3	設計方針	8
3.1	MMの三次元表現	8
3.2	ハンドジェスチャと音声認識の使用	8
3.3	複数人で行う環境	8
4	仕様と実装	9
4.1	デバイス	9
4.2	システムの外観	9
4.3	ジェスチャ	10
4.4	ジェスチャ領域	12
4.5	オブジェクト	12
4.6	音声認識処理状態のフィードバック	15
4.7	複数人数の表示とコミュニケーション	16
5	内部仕様	17
5.1	システム	17
5.2	ジェスチャ	17
5.3	オブジェクト	18
6	評価実験1	22
6.1	概要	22
6.2	被験者	22
6.3	比較対象	22
6.4	実験環境	22
6.5	実験内容	23
6.6	実験結果	24
6.7	アンケート	32
6.8	考察	34
7	評価実験2	42

7.1	概要 . . . . .	42
7.2	被験者 . . . . .	43
7.3	比較対象 . . . . .	43
7.4	実験環境 . . . . .	43
7.5	実験手順 . . . . .	43
7.6	実験結果 . . . . .	43
7.7	アンケート . . . . .	44
7.8	考察 . . . . .	50
8	評価実験 3 . . . . .	55
8.1	概要 . . . . .	55
8.2	被験者 . . . . .	55
8.3	比較対象 . . . . .	55
8.4	実験環境 . . . . .	55
8.5	実験手順 . . . . .	55
8.6	実験結果 . . . . .	56
8.7	アンケートと考察 . . . . .	56
9	おわりに . . . . .	59
9.1	まとめ . . . . .	59
9.2	今後の展望 . . . . .	59

## 1 はじめに

本研究では発想法であるマインドマップ (以下 MM) を多人数で効率的に行うため、ヘッドマウントディスプレイ (以下 HMD) とハンドジェスチャを用いるシステム、MMVR を提案、作成、評価した。MM はトニー・ブザン [1] が提唱した発想法であり、この手法では発想の中心となる画像や単語を中央にセントラルイメージとして置き、そこから関連するキーワードやキーイメージが書かれたブランチを伸ばす事によって発想を促す方法である。

MM はセントラルイメージからブランチを放射状に広げていくため、紙上で行う際、実行や保存に広い実空間が必要であるという問題点がある。これら紙媒体での欠点を解決するものとして、デスクトップ PC、モバイル・タブレット端末向けにマインドマップを行うソフトウェアが存在する。これらのソフトウェアにおけるマインドマップでは電子化されたことにより広大な仮想空間上で MM を行える他、検索機能の実装により効率的なキーワードの検索が可能になっている。しかし、これらのプラットフォーム向けの MM 作成支援ソフトウェアはいずれも二次元空間で行うため表示できる情報量に限りがある他、複数人で同時に同じ MM を操作不可能であるという問題点がある。加えてデスクトップ PC ではマウスのような間接操作を必要とするヒューマンインタフェースデバイスが用いられる事や画面外の情報に素早くアクセスできない問題があり、またモバイル・タブレットでは画面が小さいと表示できる情報量が限られるという問題点がある。

そこで、本研究では MM をより情報量の多い三次元空間上に表示し、直接操作である手による直接的なジェスチャでの操作、そして VR 空間上において複数人で机を囲んで行う作業を実現し、さらなる想起を促す MM 支援システムを作成した。

## 2 関連研究

### 2.1 マインドマップ

マインドマップ [2] はトニー・ブザンが提唱した発想法である。MM は図 1 のように発想の中心となるセントラルイメージを中央に置き、放射状に関連するキーワード、キーイメージを添えたブランチを伸ばす事によって、考えを纏め、新たなアイデアを探索する方法である。

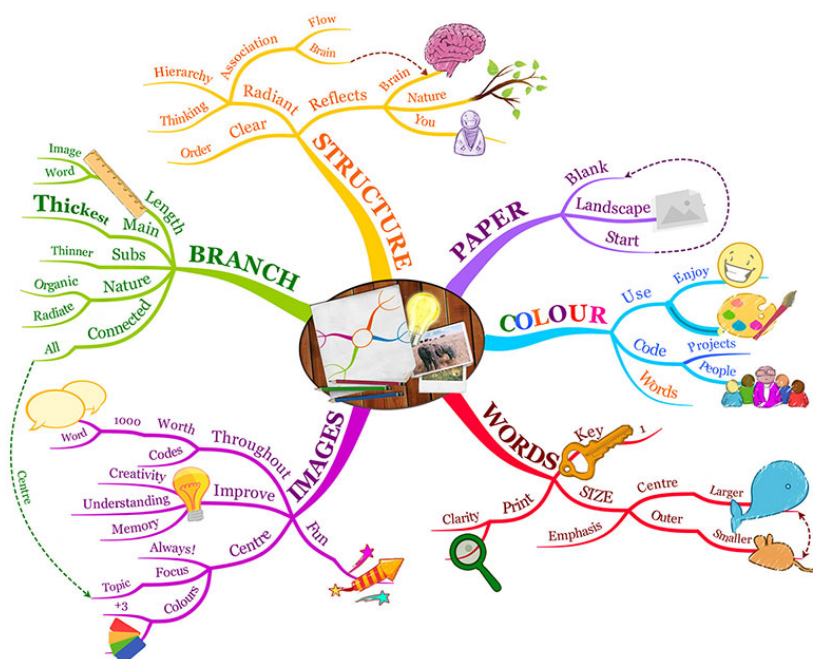


図 1: マインドマップ

### 2.2 マインドマップの効果と重要性

文部科学省 [3] は初等中等教育分科会にて、21 世紀を生き抜くための力を育成するため、学校が基礎的基本的な知識技能に加え、思考力・判断力・表現力の育成について重視する必要があると答申している。

また、片平 [4] が中学生に対し MM を行ったところ思考数が多かったことより、MM は思考力や発想力を養う方法であると考えられている。

これらの事から、発想支援として、MM が今後の教育現場でも重要になると考えられ、より発展的な発想力が得られるシステムが求められる。

## 2.3 複数人でマインドマップを行う重要性

### 2.3.1 複数人でのマインドマップ

ブザンは著書にて「グループでアイデアを出し合えば外面化した記憶のハードコピーになる」とし、複数人でマインドマップを行う重要性を説いている。しかし、MM を支援するソフトウェアである iMindMap[5] や KJ 法 [6]\*<sup>1</sup> を VR 空間上でハンドジェスチャを用いて操作して作成する KJVR[7] の様な既存の発想支援ソフトウェア (節 2.4, 2.5 参照) では複数人での作業は考慮されておらず、ユーザが複数の場合別々にソフトウェアを使用する必要がある。

### 2.3.2 複数人で作業するソフトウェア

複数人で作業するソフトウェアの例として、マルチプラットフォーム向けアプリの Google ドキュメント [8](文書作成)、スプレッドシート (表計算作成)、スライド (図 2)、フォーム (アンケート作成) がある。これらのソフトウェアは複数人での作業を容易に行えるように設計されており、他の編集者がファイルを編集すると、色、カーソル、編集者名でその人が今どこを編集しているかが分かるようになっている。これらのソフトウェアで使われている共同編集者を色で表示する方法は、本研究のマインドマップを複数人で行う環境でも有用と考えられる。

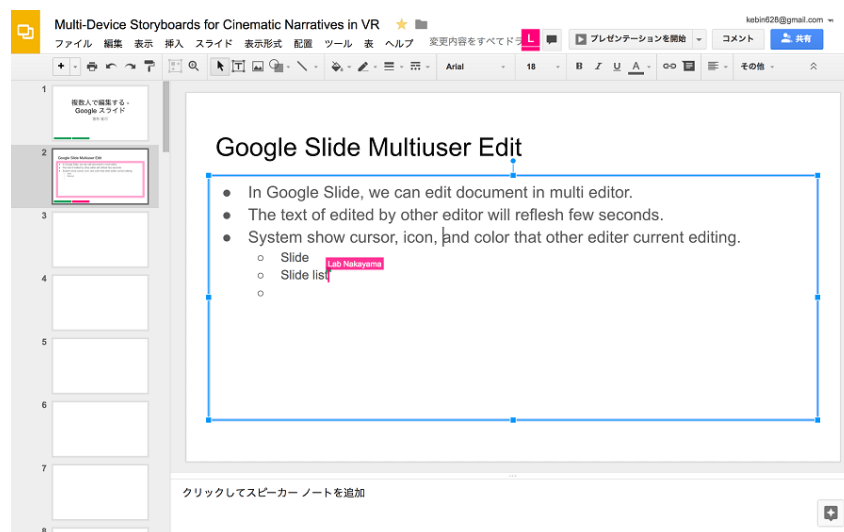


図 2: Google ドキュメント

また、VR 空間上で共同作業を行うプラットフォームとして CocoVerse[9] がある。ユーザは HMD(HTC Vive) のコントローラを仮想ボタン内に合わせコントローラのトリガーを引く事で仮想ツールを表示し使う事ができる。事前評価において、コントローラがマウスと同質なものでなく、また視覚フィードバックが十分に与えられていなかったため、ツールの表示操作の習得と仮想ボタンにコントローラを合わせる事が困難である事が分かった。著者はハンドジェスチャと視覚フィードバックによりこれらの問題の解決を試みた。

\*1 「KJ 法」は株式会社川喜田研究所の商標登録



## 2.4 VR空間とハンドジェスチャを使用した操作

以前筆者は、ラベルと呼ばれるアイデアを書いた小さな紙片状のオブジェクトをハンドトラッキングセンサーを用い手で直接操作する、図3のKJ法支援ソフトウェア「KJVR」を制作し評価した。結果として、机上でのKJ法よりVR空間上でハンドトラッキングを使い操作した方が、ラベル枚数が増えた際に操作時間が増加しにくく効率的だったという結果が得られた。このことから、情報量が増えるMMにおいても、表示にVR空間を使うことと操作にハンドトラッキングを使うことが有用だと考えられる。

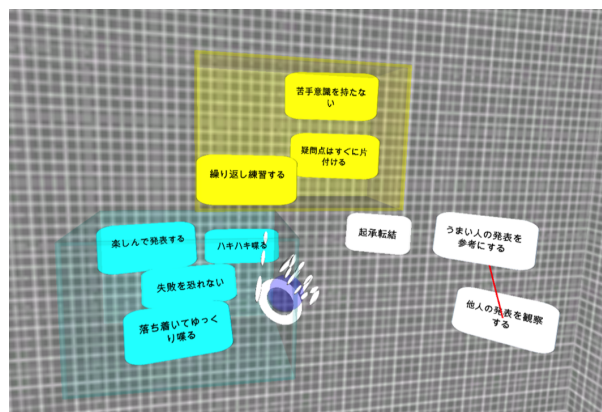


図3: KJVR

## 2.5 マインドマップ支援の既存ソフトウェア

図4のiMindMapはブザン公認のPC、モバイル、タブレット端末向けのMM支援ソフトウェアである。このソフトウェアは2D的な表示のため、情報が増えた際に表示量に限界がある。本研究ではiMindMapをデスクトップ上で行うMM支援ソフトとして比較対象に選択した。

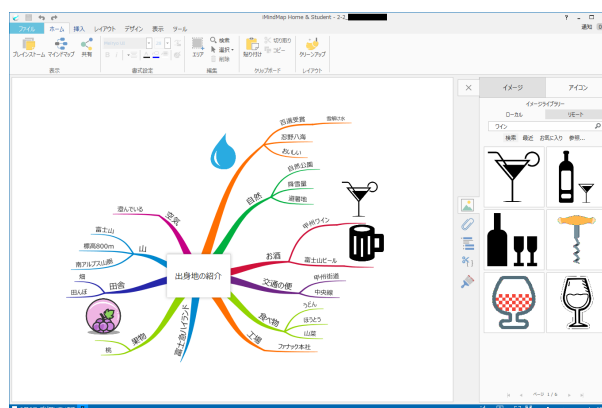


図4: iMindMap

## 3 設計方針

### 3.1 MM の三次元表現

本システムで作成したシステムの第一の設計方針は、机上での実施および既存ソフトウェアにおける問題である空間の制限を緩和するため、広い視野と作業領域を使えるようにすることである。この実現に向け、本研究ではユーザの周りに 360° の仮想空間を作り、その空間上にセントラルイメージとブランチを配置する事で、従来の紙媒体のように大きな実空間を用意せずとも作業できるようにする。仮想空間の表示には全天ディスプレイのように大掛かりな設備を使うことなく、ユーザの周りに仮想空間を展開できる HMD を使用する。

### 3.2 ハンドジェスチャと音声認識の使用

第二の設計方針として、直接ブランチに触って操作することで、心理的負担を軽減することである。iMindMap のような従来のデスクトップソフトウェアではマウスとキーボード両方を使うため、ユーザの手がこれらデバイス間で往復することになり、この心理的・肉体的負担は無視できない。そこで操作の切り替えのためのデバイス間での手の移動が不要で、かつマウスやキーボードのような間接的な操作ではなく、より直接的なハンドジェスチャと音声認識を組み合わせ、各種負担の軽減を図る。

### 3.3 複数人で行う環境

第三の設計方針は、複数人で MM 作業を可能にすることである。前述のようにブザンは、複数人でマインドマップを行いアイデアを出し合えば、その成果物は外面化した記憶のハードコピーになると説いている。その為、従来の MM 支援ソフトウェアで行っていない、ソフトウェア環境における複数人での MM を実現する。

## 4 仕様と実装

設計方針を基に、MMVR を作成した。本章では MMVR の実装について述べる。

### 4.1 デバイス

本研究ではシステムの実装に Unity5.6.2、HMD に数メートル四方での位置追跡が可能な HTC Vive(以下 Vive)、ハンドトラッキングセンサーに赤外線による画像解析を用い手の情報を出力する Leap Motion(以下 Leap) を使い、これらを以下の環境で動かした。

- OS: Windows 10 Pro
- GPU: GTX Titan
- CPU: Intel Core i7-4790K, 4.00GHz
- RAM: 32GB

実際の使用環境は図 5 の様になる。



図 5: デバイス

### 4.2 システムの外観

MMVR は

- セントラルイメージ
- ブランチ

と、これらに付随する

- キーワード
- キーイメージ

(以下これら4つをオブジェクトと呼ぶ)を操作対象とするシステムであり、ユーザは図6のようにHMD上に表示されたオブジェクトをハンドジェスチャで操作する。

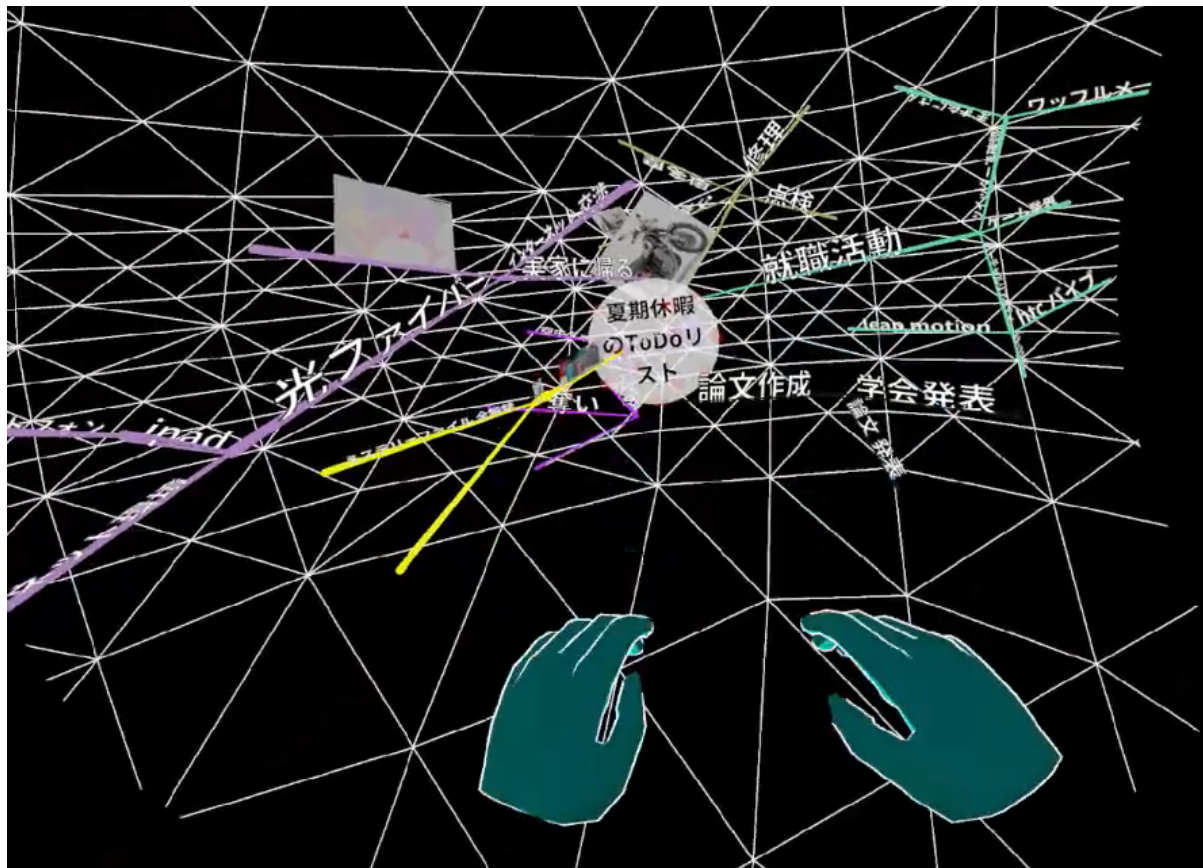


図 6: MMVR

## 4.3 ジェスチャ

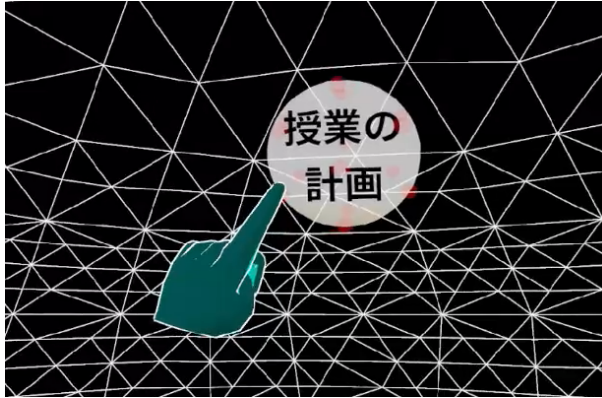
### 4.3.1 人差し指でなぞるジェスチャ (ドラッグ、タップ、ダブルタップ)

「人差し指でなぞる」ジェスチャは、図7のような(1)タップ(タップ、ダブルタップ)、(2)ドラッグの連続したジェスチャである。操作の流れは以下の通りである。

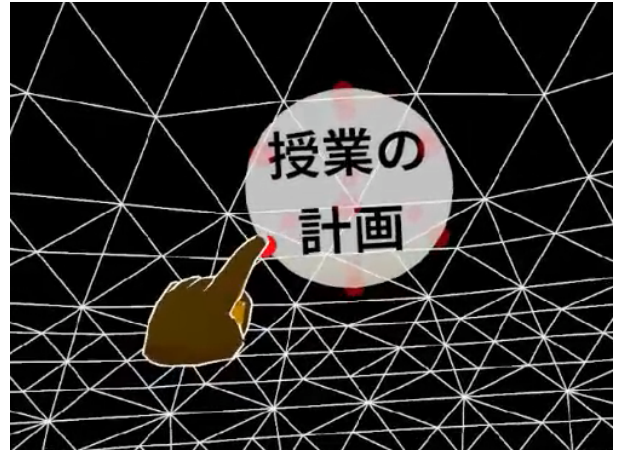
(1) タップは人差し指のみを立てた状態(図7(a))で、後述するオブジェクトのジェスチャ領域に触るジェスチャである。近づけると手がオレンジ色に(図7(b))、接触すると緑色に変化する。この後、ドラッグ状態に移る。

(2) ドラッグはタップから遷移する状態で、人差し指を立てたまま任意の場所に指を移動するジェスチャである(図7(c))。この最中、再びタップしたオブジェクトのジェスチャ領域に触った場合、手が紫色になり、タップはダブルタップに変化する(図7(d))。

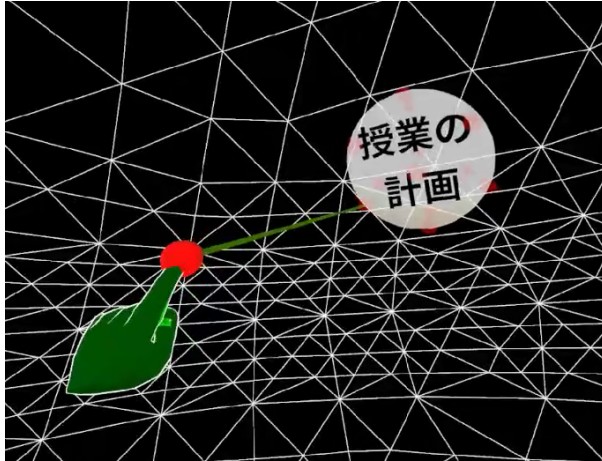
なお、ジェスチャを終了する際は人差し指を曲げて終了する。



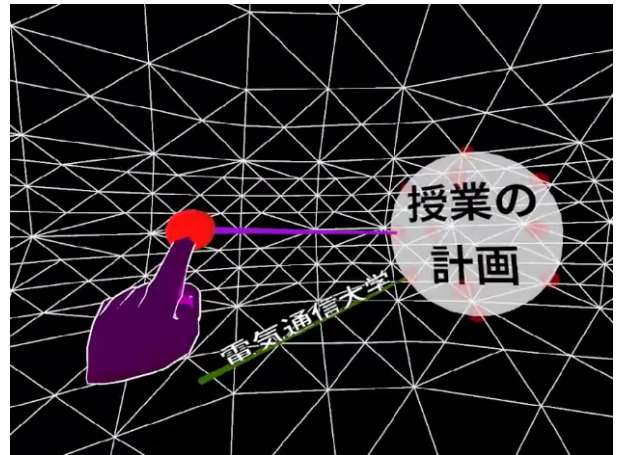
(a) 人差し指を立てる



(b) 人差し指を立てた状態でジェスチャ領域に近づく



(c) タップ後のドラッグ



(d) ダブルタップ後のドラッグ

図 7: 人差し指でなぞるジェスチャ

#### 4.3.2 グラブ

「Grab」ジェスチャは図 8 のようにオブジェクトのジェスチャ領域 (後述) で手を握ることで行うジェスチャである。終了は手を広げることによって行う。

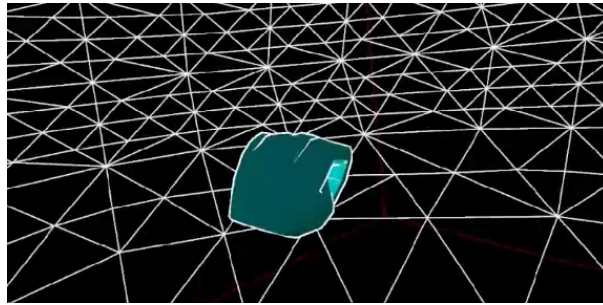


図 8: ジェスチャ「グラブ」

#### 4.4 ジェスチャ領域

オブジェクトの内部には球状のジェスチャ領域(図9)があり、ここに対してジェスチャを行うことでシステムを操作する。ジェスチャ領域はセントラルイメージとブランチに設置され、これらの場所次第で使えるジェスチャの種類が異なる。また、ブランチのジェスチャ領域については基本的に可視化されておらず手が近づくと表示されるようになっており、図9のブランチ上にあるジェスチャ領域はUnityエディタ上で可視化されていない部分も表示させたものである。

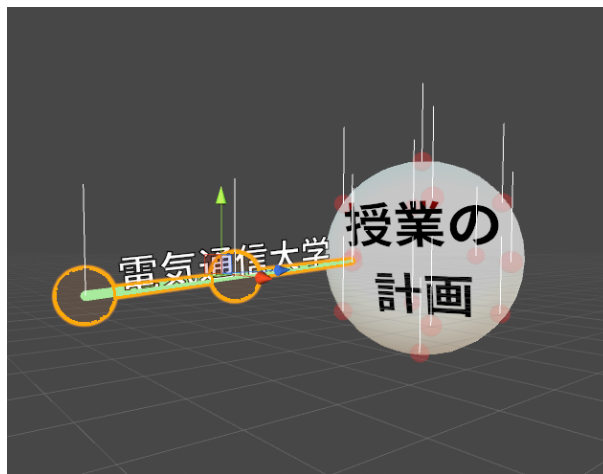


図 9: ジェスチャ領域

#### 4.5 オブジェクト

##### 4.5.1 セントラルイメージ

図10のセントラルイメージはMMの中心に1つだけ表示されるオブジェクトである。セントラルイメージの周囲にジェスチャ領域が配置されており、これらにタップ、ダブルタップすることにより、キーワード、キーイメージ付きブランチの作成が可能となる。なお、ブランチの作成については4.5.2を参照。

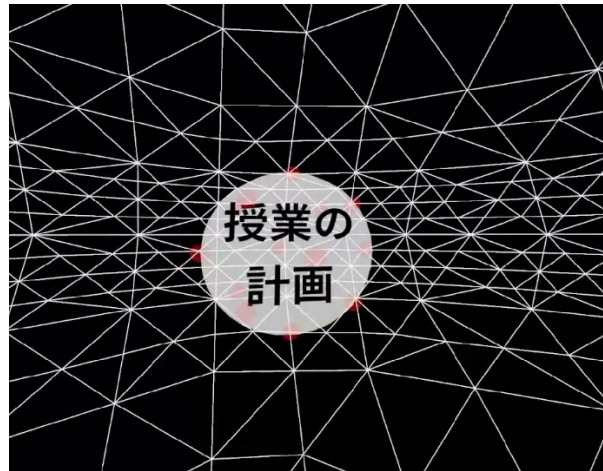


図 10: セントラルイメージ

#### 4.5.2 ブランチ

図 11 のブランチはセントラルイメージやブランチの端から伸びるオブジェクトである (紫と黄色の線分で表示)。ブランチにはそれぞれキーワード、キーイメージの何れかが付属しており、ユーザはブランチ作成時と内容変更時にこれらの内容を音声認識にて設定することができる。ブランチにおいて可能な操作は (1) ブランチの作成、(2) ブランチの削除、(3) ブランチの位置移動、(4) ブランチに付属するキーワードとキーイメージの変更である。

(1) ブランチの作成はセントラルイメージのジェスチャ領域、もしくはブランチの先端にあるジェスチャ領域に対しタップもしくはダブルタップを行いドラッグする事によって行う。ドラッグ終了後、音声入力 of インジケータが表示されている 3 秒間で入力したい内容を発話する。3 秒経つと解析され、処理され次第目的の内容が入ったキーワードやキーイメージが作成される。なお、キーワードかキーイメージのどちらが作成したブランチに付随するかは最初の操作で決まり、タップであればキーワードを、ダブルタップであればキーイメージを付属させている。音声入力が失敗した場合、ブランチは即座に削除される。

(2) ブランチの削除は、図 12(a) の様に人差し指と中指を立てた状態でブランチの中央にあるジェスチャ領域を人差し指でタップして行う。

(3) ブランチの位置移動は、図 12(b) の様にブランチの先端にあるジェスチャ領域をグラブした状態で手を移動させることによって行い、手を開く事で位置が確定する。また、ブランチの位置は特定の平面ではなく制限なく配置できる。

(4) ブランチに付属するキーワードとキーイメージの変更は、ブランチの中央にあるジェスチャ領域をタップもしくはダブルタップ後、グラブし、音声入力 of インジケータが表示されている 3 秒間で入力したい内容を発話することで行う。なお、発話内容がキーワードかキーイメージのどちらに変更されるかは最初の操作によって決まり、タップであればキーワードで、ダブルタップであればキーイメージで変更される。

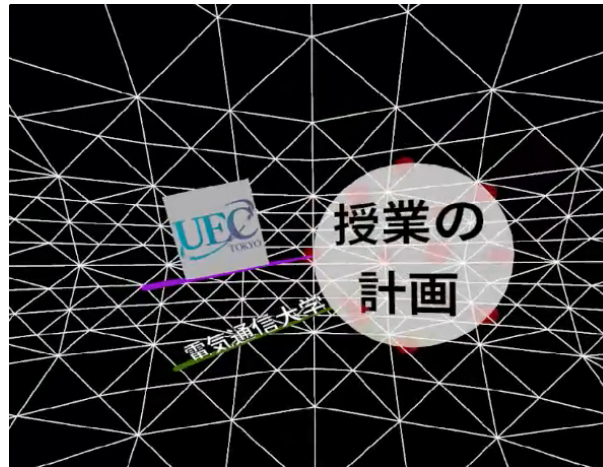
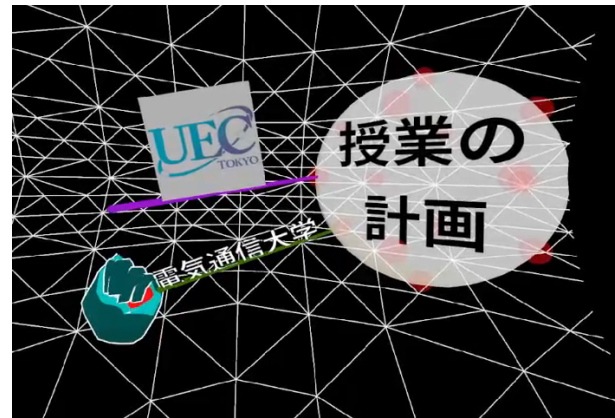


図 11: ブランチ



(a) ブランチの削除



(b) ブランチの移動

図 12: ブランチへのジェスチャ

#### 4.5.3 キーワード

キーワードはブランチ上部に付属するテキストである(図 11 における「電気通信大学」)。ブランチ作成ジェスチャ、ブランチ内容変更ジェスチャにて最初の操作がタップであれば、音声入力結果がキーワードとなり表示される。

#### 4.5.4 キーイメージ

キーイメージはブランチ上部に付属する画像である(図 11 における本校ロゴ)。ブランチ作成ジェスチャ、ブランチ内容変更ジェスチャにて最初の操作がダブルタップであれば、音声入力した言葉の画像がキーイメージとなり表示される。



#### 4.6 音声認識処理状態のフィードバック

MMVR ではユーザに操作結果を伝えるため、図 13 の音声入力受付、処理中、失敗の 3 つのタイマー付き UI を用意した。緑色の部分が残り時間で、反時計周りに時間経過で減っていき、タイマーが 0 になるとフェードアウトするようにした。音声入力受付はブランチ作成途中のドラッグ終了し音声を入力するタイミングで 3 秒表示され、処理中は SpeechAPI[10] や CustomSearchAPI[11] の処理中に 5 秒表示され、失敗は音声入力や画像のダウンロードが失敗した時に 1 秒表示されるようにした。

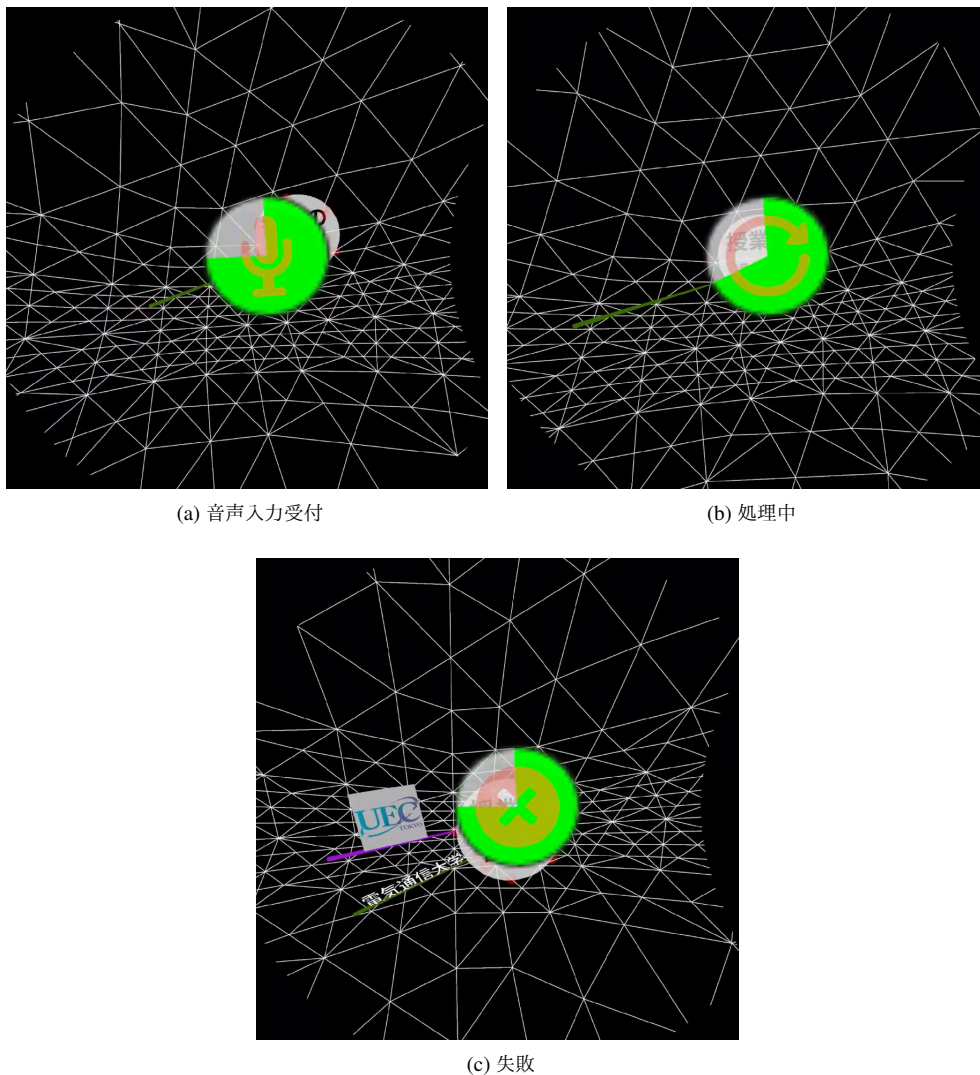


図 13: 音声認識処理状態インディケータ

#### 4.7 複数人数の表示とコミュニケーション

MMVR では同時にシステムを操作する共同編集者が今どこを編集しているかを示すため、図 14 のようにユーザを異なった色のカプセルと手のセットで表示している。カプセルはユーザの頭の位置に表示される他、手がリアルタイムに同期されることにより共同編集者とコミュニケーションを取る際役立つ事ができる。

また、共同編集者同士がコミュニケーションをとれるよう、MMVR と別途、ボイスチャットのシステムを使用した。

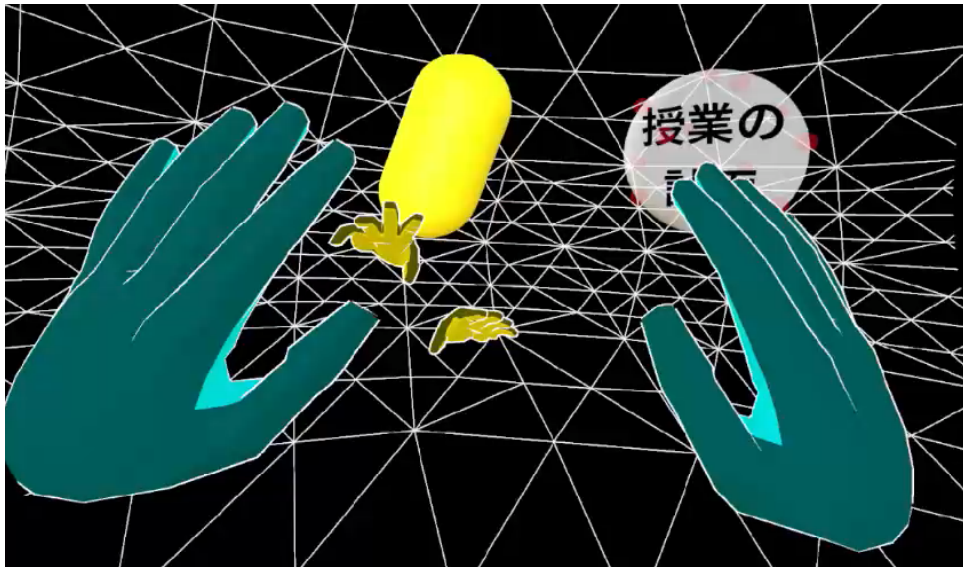


図 14: 共同編集者の表示

## 5 内部仕様

本研究では MMVR を実装環境としてゲームエンジンである Untiy5.6.2 を用い作成し、また、複数人で使用する際のデータのやり取りは Unity 内に用意されているネットワーク通信向け機能である UNET を使った。

### 5.1 システム

#### 5.1.1 データの送信

複数人数で MM を行う際、手とマインドマップを同期させる必要があるが、本研究では 2 種類の手段を用い実現している。

手の同期については UNET の機能である NetworkTransform, NetworkTransfrom コンポーネントを用いプレイヤーの指、関節それぞれを登録し、接続した共同編集者同士が相手が今どこを編集しているのかりアルタイムでの確認を可能にした。

現在編集中の MM の同期については UNET のメッセージ送信機能を用い、ブランチの移動、ブランチの作成、ブランチの削除といったイベント時に、接続されているその他の共同編集者に対し、図 15 のように MM を xml データとして送信し、受け取った共同編集者はそれを元にオブジェクトを更新、作成、削除を行う事によって MM のユーザ間同期を実現した。

```
1 <CentralImage text="授業の計画" url="" maxbranch_id="2" maxball_id="17">
2   <Branch branch_id="2" parentball_id="5" centerball_id="16" childball_id="
      17" childball_pos="(-0.1998, 14.5662, 0.0350)" text="電気通信大
      学" url="https://pbs.twimg.com/profile_images/699482453933592576/
      Vo20Pibj.png" color="RGBA(0.601, 0.087, 0.806, 1.000)">
3   </Branch>
4   <Branch branch_id="1" parentball_id="13" centerball_id="14" childball_id="
      15" childball_pos="(-1.2444, 13.0514, 0.0593)" text="電気通信大
      学" url="" color="RGBA(0.219, 0.414, 0.001, 1.000)">
5   </Branch>
6 </CentralImage>
```

図 15: xml データの例

### 5.2 ジェスチャ

MMVR ではハンドジェスチャを使い操作するが、ハンドジェスチャの取得については HMD である HTC Vive の正面にハンドトラッカーである Leap Motion を装着し、手の動きを取得している。また、手の位置、指の位置、指の角度、Leap Motion で既に定義されている GrabStrength データにアクセスするため、Leap Motion SDK Orion 3.1.3 の Unity 向けライブラリを使用した。

### 5.2.1 ジェスチャ領域

ジェスチャ領域はセントラルイメージの周囲に 14 個、ブランチの中央と先端に存在するジェスチャを開始するためのオブジェクトである。これらのジェスチャ領域は各オブジェクト作成時に自動的に配置される。また、それぞれのジェスチャ領域に対して固有の ID が付けられ接触したジェスチャ領域はどれか等を外部プログラムから読み出す為に使われる。

### 5.2.2 人差し指でなぞるジェスチャ（ドラッグ、タップ、ダブルタップ）

人差し指でなぞるジェスチャのような人差し指を扱うジェスチャでは、各フレームで指が伸びているかを Leap Motion に用意されている `Finger.IsExtended` の値を使用した。もし人差し指のみ伸びていて、かつ何かしらのジェスチャが実行中であることを表す `GestureController` を継承したコンポーネントが手の `GameObject` についていなければ、手の `GameObject` に対し新たにジェスチャ用のクラス `GestureController` を継承した `IndexExtendGesture` を `AddComponent` でコンポーネントとして付け、以降ジェスチャ終了まで `IndexExtendGesture` 内でこれらのジェスチャの処理を受け付けた。また、この `IndexExtendGesture` 作成時に人差し指にジェスチャ認識用の小さな球体オブジェクトが指先に生成され、それがセントラルイメージやブランチの先端にあるジェスチャ領域に触れるとブランチの作成が、ブランチの中央にあるジェスチャ領域に触れるとブランチの変更を受け付けるようにした。

### 5.2.3 グラブ

グラブジェスチャでは、各フレームで LeapMotion に用意されている手の握っている強さ `Hand.GrabStrength` の値を使用した。もしこの値が最大の 1 であれば、人差し指でなぞるジェスチャ同様他のジェスチャが実行中でないか確認した上で、その手の `GameObject` に `GestureController` を継承した `GrabGestureController` コンポーネントを付け、その時手に接触しているジェスチャ領域を持つオブジェクトを `GrabGestureController` に登録した。その後、`GrabGestureController` 内でジェスチャを行っている手の位置とグラブしたジェスチャ領域の位置を同期するブランチの移動処理を行い続けることでブランチの移動を実現した。なお、`GrabGestureController` のジェスチャ終了条件は `GrabStrength` が 0.5 以下になった時に設定した。

## 5.3 オブジェクト

### 5.3.1 セントラルイメージ

セントラルイメージは 14 個のジェスチャ領域が四方に配置されているオブジェクトである。プロジェクト開始時に自動的に作られ、ユーザはこの周囲にあるジェスチャ領域からブランチを作成する。保存送信の際に使われるデータの保存形式は図 16 の様に内容テキスト、画像 URL、配置されている最大のブランチ ID、最大のジェスチャ領域 ID になる。

```
1 <CentralImage text="授業の計画" url="" maxbranch_id="2" maxball_id="17">
2 </CentralImage>
```

図 16: セントラルイメージのデータ例

### 5.3.2 ブランチ、キーワード、キーイメージ

ブランチはセントラルイメージとブランチ先端のジェスチャ領域にタップを行い、ドラッグすることで表示されるオブジェクトである。自分で作成する場合は `IndexExtendGesture` を通じて作られ自動的に ID が割り振られる他、複数人で実施している際相手がブランチを作った際はデータ同期用プログラムからブランチ ID や親のジェスチャ領域 ID のデータを元に直接生成される。

生成されたブランチにキーワードかキーイメージのどちらが付くかについては、ブランチに入力されたテキストのみが登録されていた場合はキーワードを、テキストと URL が登録されていた場合はキーイメージが表示される。なお、キーワードとキーイメージは共に音声入力で行うが、これは発話内容を内部データ保存ディレクトリに保存し、その内容を `Google Speech API` に送信し、図 17 のように返される結果を取得することでその内容をテキスト化している。キーワード作成時は `SpeechAPI` で帰ってきた結果の内 1 番目をテキストとしてブランチに登録し、キーイメージ作成時はその結果の画像を `Google Custom SearchAPI` に送信して、図 18 の様に帰ってきた結果 `items` の 1 番目に帰ってきた URL を取得し画像をダウンロードすることで実現した。

また、保存送信に使われるデータの形式は図 19 の様になり、保存されるデータはブランチの ID、ブランチ親側のジェスチャ領域の ID、ブランチ中央のジェスチャ領域 ID、ブランチ子側のジェスチャ領域 ID、ブランチ子側のジェスチャ領域の位置、ブランチのキーワード、ブランチのキーイメージ、ブランチの色である。なお、キーワード、キーイメージの向きについては同期させず、各ユーザから必ず見えるようこれらが正対する向きにそれぞれ変更されるようにした。

```
1 {"result":[{"alternative":[{"transcript":"電気通信大  
学","confidence":0.9683671},{  
"transcript":"天気通信大  
学","confidence":0.84939426}],  
"final":true}],  
"result_index":0}
```

図 17: Google Speech API の結果例

```

1 {
2   "kind": "customsearch#search",
3   "url": {
4     "type": "application/json",
5     "template": "中略
6   },
7   "queries": {
8     "request": [
9       {
10        "title": "Google Custom Search - 電気通信大学",
11        "totalResults": "8510000",
12        "searchTerms": "電気通信大学",
13        "count": 10,
14        "startIndex": 1,
15        "inputEncoding": "utf8",
16        "outputEncoding": "utf8",
17        "safe": "off",
18        "cx": "003548188006677474222:u3i3mkmn0eu",
19        "searchType": "image"
20      }
21    ],
22    "nextPage": [中略
23
24  ]
25  },
26  "context": {
27    "title": "MMVR - Google Image Search"
28  },
29  "searchInformation": {
30    "searchTime": 0.613681,
31    "formattedSearchTime": "0.61",
32    "totalResults": "8510000",
33    "formattedTotalResults": "8,510,000"
34  },
35  "items": [
36    {
37      "kind": "customsearch#result",
38      "title": "電気通信大学 (@uectokyo) | Twitter",
39      "htmlTitle": "\u003cb\u003e\u003e\u003c/b\u003e (@uectokyo) | Twitter",
40      "link": "https://pbs.twimg.com/profile_images/699482453933592576/Vo20Pibj.png",
41      "displayLink": "twitter.com",
42      "snippet": "電気通信大学 (@uectokyo) | Twitter",
43      "htmlSnippet": "\u003cb\u003e\u003e\u003c/b\u003e (@uectokyo) | Twitter",
44      "mime": "image/png",
45      "image": {
46        "contextLink": "https://twitter.com/uectokyo",
47        "height": 400,
48        "width": 400,
49        "byteSize": 42497,
50        "thumbnailLink": "https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=
51          tbn:AND9GcR78np5MDXThwSg0NX7_GBfwStKvseTdPwKl6HAfJQRntWMRhmkBf7I6Q",
52        "thumbnailHeight": 124,
53        "thumbnailWidth": 124
54      }
55    },
56    {中略
57  }
58 ]

```

```
1 <Branch branch_id="2" parentball_id="5" centerball_id="16" childball_id="17
  " childball_pos="(-0.1998, 14.5662, 0.0350)" text="電気通信大
  学" url="https://pbs.twimg.com/profile_images/699482453933592576/
  Vo20Pibj.png" color="RGBA(0.601, 0.087, 0.806, 1.000)">
2 </Branch>
3 <Branch branch_id="1" parentball_id="13" centerball_id="14" childball_id="
  15" childball_pos="(-1.2444, 13.0514, 0.0593)" text="電気通信大
  学" url="" color="RGBA(0.219, 0.414, 0.001, 1.000)">
4 </Branch>
```

図 19: ブランチのデータ例

## 6 評価実験 1

### 6.1 概要

本実験では MM における基本操作でかかった時間を計ることにより、本システムで操作の効率化と負担の軽減が図れたかを、既存ソフトウェアとの比較実験及びアンケートを行い調査した。

### 6.2 被験者

被験者は本学の学部生と大学院生からなる 8 名で、これら被験者を以下被験者 1 から 8 と呼ぶ。また被験者に対し、「マインドマップを使ったことがありますか」、「マインドマップが使えるソフトウェアを使ったことがありますか」、「ハンドジェスチャシステムを使ったことがありますか」の質問を行った所、被験者 7 はそれぞれ「情報やアイデアの整理」、「iMindMap」、「Leapmotion での実験」と回答し、それ以外の被験者はいずれも全ての質問に「ない」と答えた。

### 6.3 比較対象

本実験では、既存の MM 支援ソフトウェアである Windows 版 iMindMap と比較した。本実験で iMindMap を選んだ理由として、唯一ブザンが公認した MM 支援ソフトウェアであること、操作方法として従来の間接的なインターフェースであるマウスとキーボードで操作するためである。

### 6.4 実験環境

#### 6.4.1 MMVR

MMVR での実験は HMD と衛生アイマスクを渡し、その後表 1 の機材で実験を行った。

#### 6.4.2 iMindMap

iMindMap を使用する実験では従来の方法としてキーボードとマウスを渡し、デスクトップディスプレイで実験を行った。また、実験は表 1 の環境で実施した。



表 1: 使用した環境

PC	OS	Windows 10 Pro
	CPU	Intel Core i7-4790K, 4.00GHz
	GPU	GTX Titan
	RAM	32GB
MMVR	実行環境	Unity 5.6.2 エディタ
	HMD	HTC Vive
	ハンドセンサー	Leap Motion
iMindMap	iMindMap	version 10.1.1
	ディスプレイ	Dell 3007 WFP-HC(2560x1600)
	キーボード	Logicool K270
	マウス	MX Master 2S

## 6.5 実験内容

実験ではマインドマップの基本的な操作を評価するため7つのタスクを用意し、これを被験者に MMVR, iMindMap でそれぞれ3回ずつ行わせ、操作完了までにかかった時間を評価した。実験手順としては、予め操作説明を行った後、被験者 1,2,5,6 は MMVR を先に行い、その後 iMindMap で、被験者 3,4,7,8 は先に iMindMap で行いその後 MMVR でタスクを行った。また評価実験 1 の全てのタスクが終了後、操作性や今までどのようなシステムを使ったか等のアンケートを行った。実験で行った7つのタスクは表2の通りである。

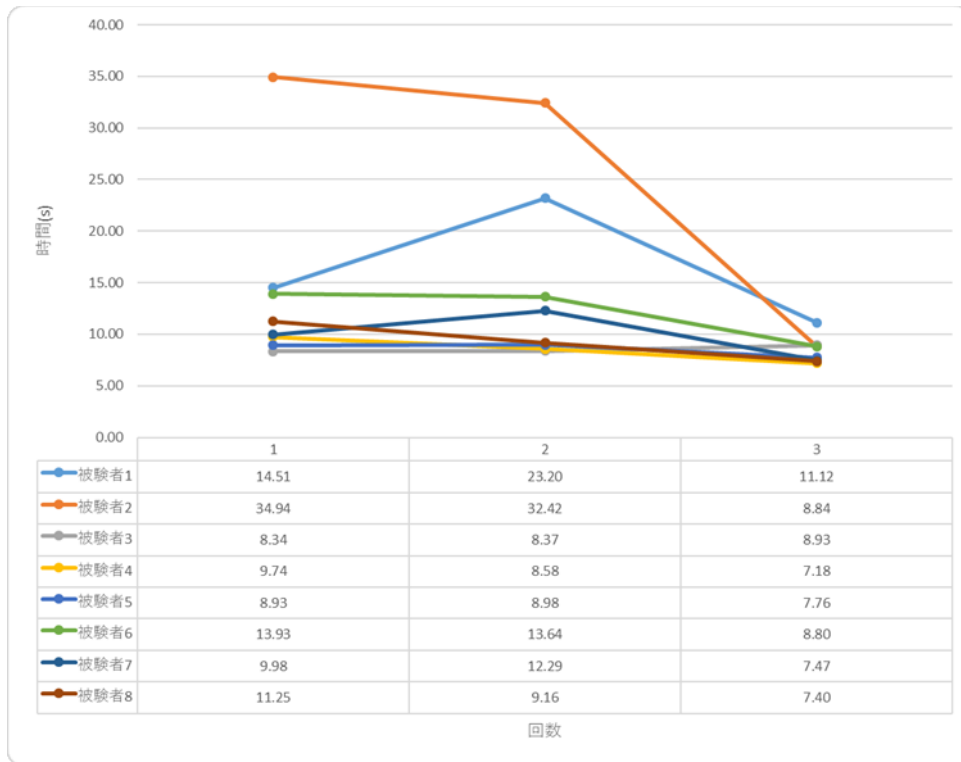
表 2: 評価実験 1 のタスク

タスク	操作	操作説明
1	キーワード付きブランチの作成	セントラルイメージからキーワード「資料」付きブランチを右側に作成する。
2	キーイメージ付きブランチの作成	セントラルイメージからキーイメージ「情報」付きブランチを左側に作成する。なお、iMindMap ではキーイメージ検索を日本語で行えないため、予め英語で検索を行う様に指示した。
3	キーワード付きとキーイメージ付き	タスク 1 で作成したキーワード「資料」付きブランチから、キーワード「ウェブ」付きブランチ、キーイメージ「本」付きブランチを枝分かれするように作成、配置する。
4	キーワード付きブランチの編集	タスク 1 で作成したキーワード「資料」付きブランチのキーワードを「情報源」に変更する。
5	キーイメージ付きブランチの編集	タスク 2 で作成したキーイメージ「情報」付きブランチのキーイメージを「目標」に変更する。
6	キーイメージ付きブランチの削除	タスク 2 で作成したキーイメージ付きブランチを削除する。
7	キーワード付きブランチの削除	タスク 1 で作成したキーワード付きブランチを削除する。

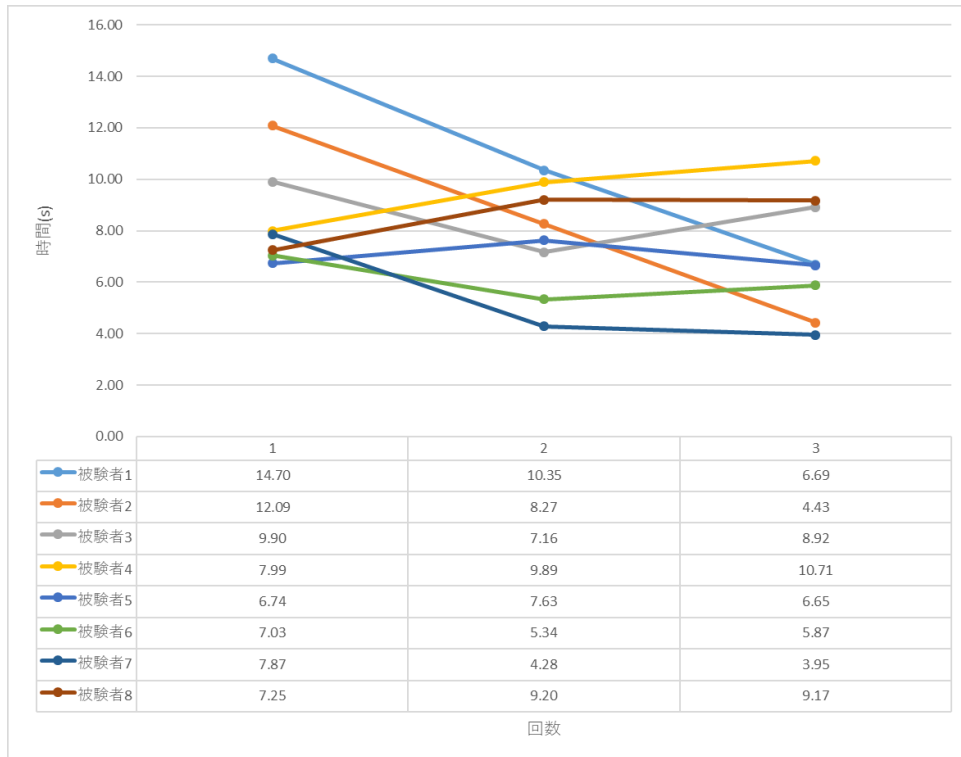
## 6.6 実験結果

### 6.6.1 タスク完了時間

被験者が各ソフトウェアでタスク 1-7 の操作を完了するまでにかかった時間は図 20-26 の様になった。

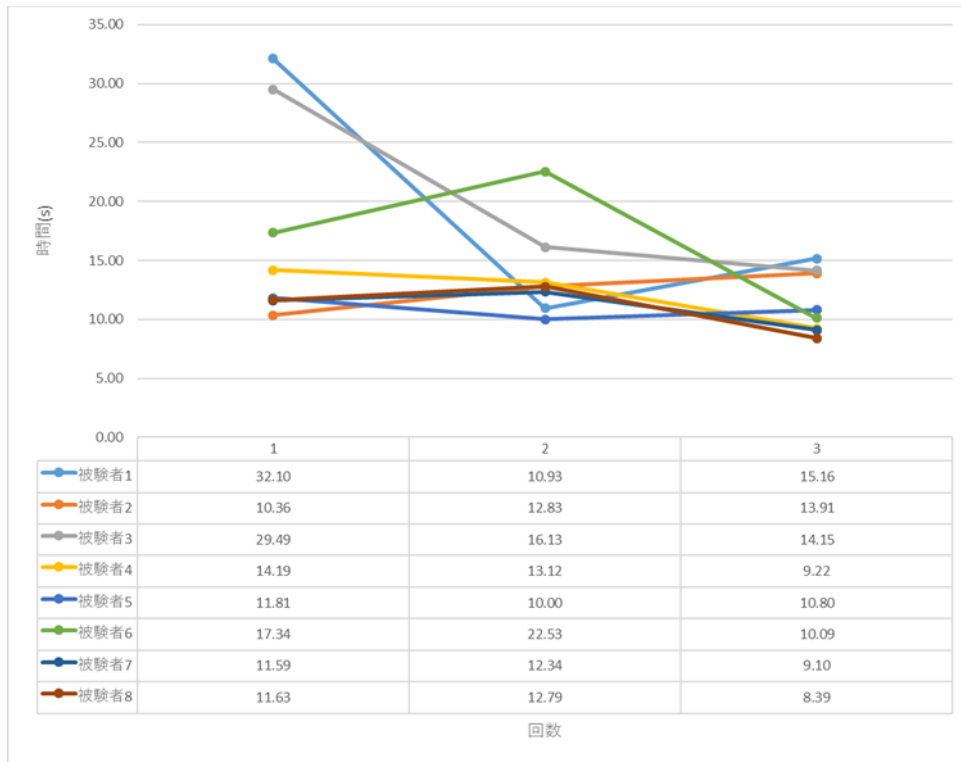


(a) MMVR

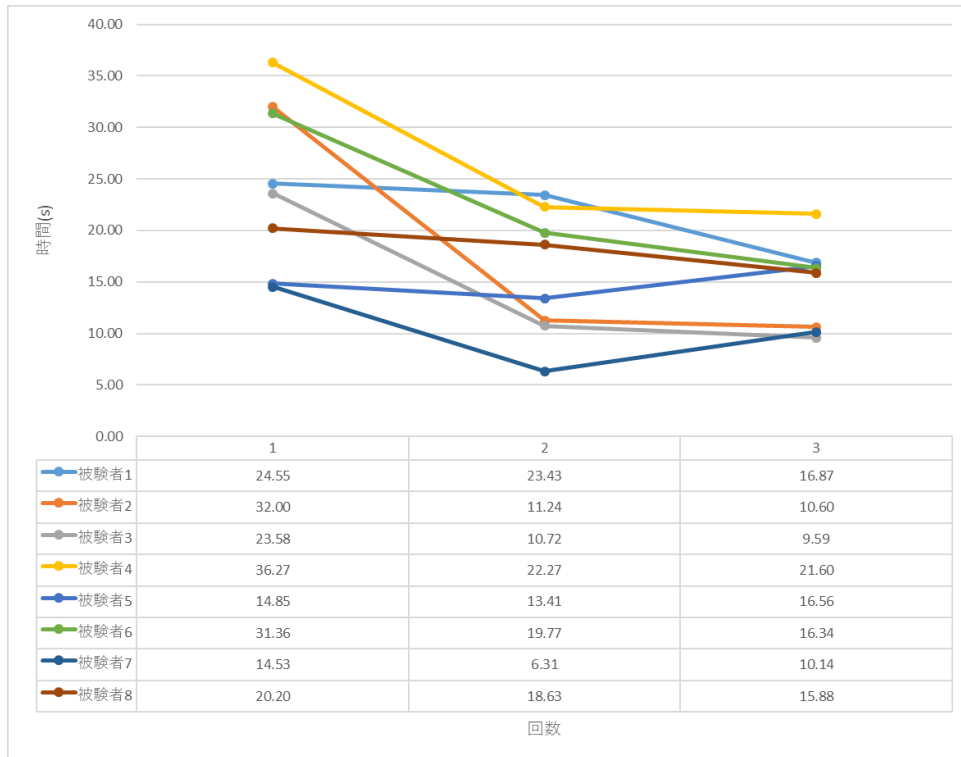


(b) iMindMap

図 20: タスク 1 の結果

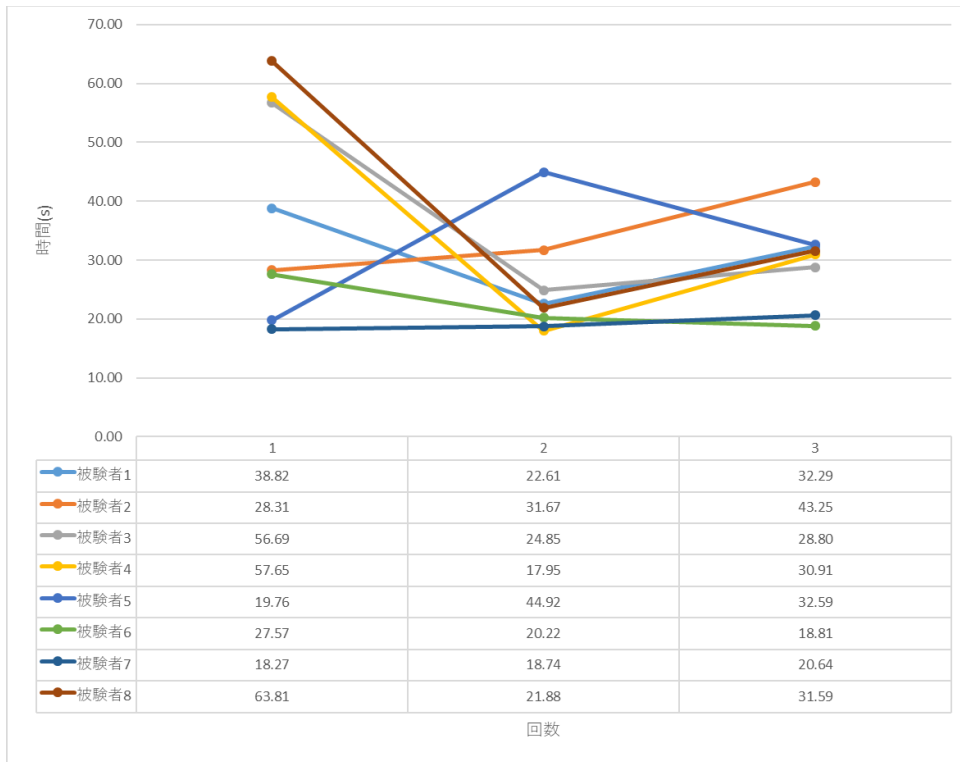


(a) MMVR

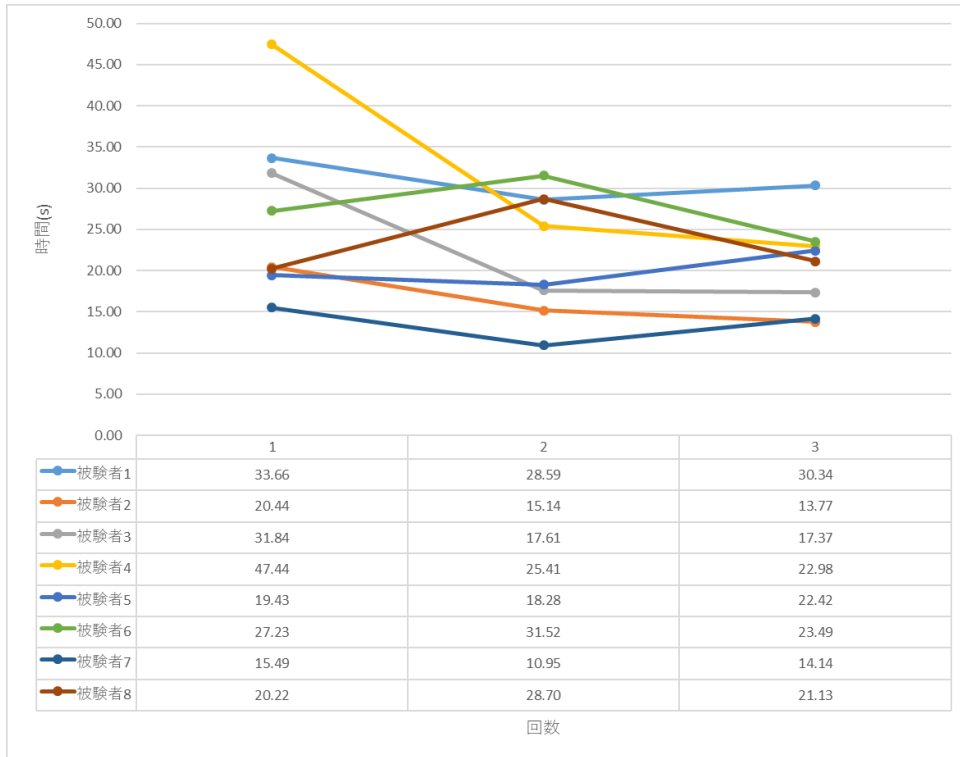


(b) iMindMap

図 21: タスク 2 の結果

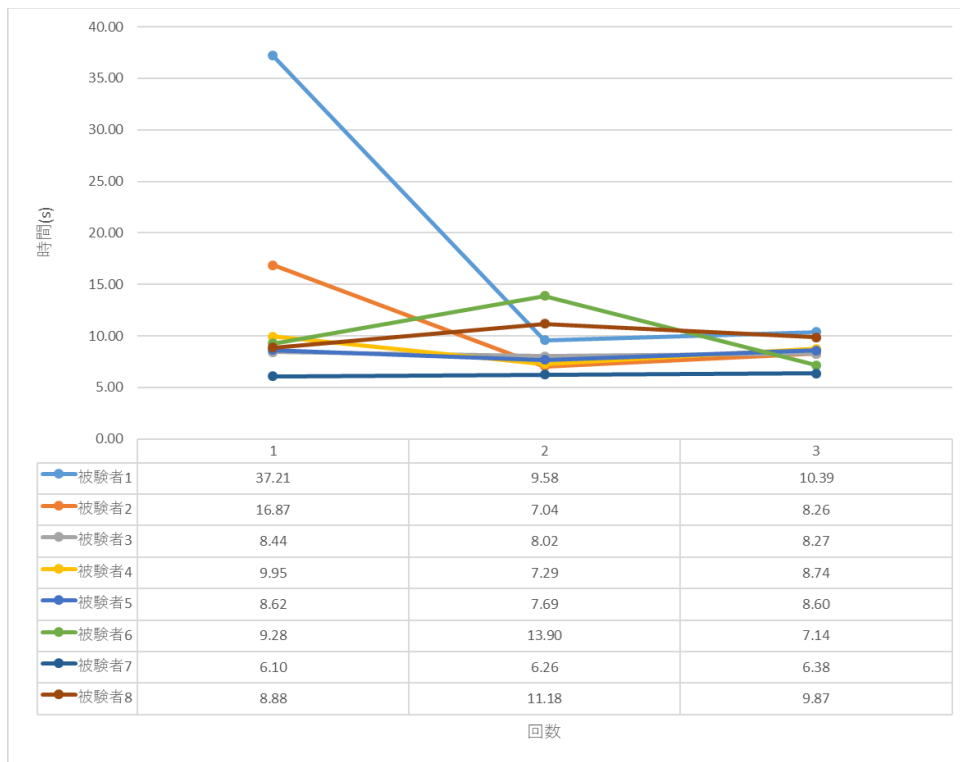


(a) MMVR

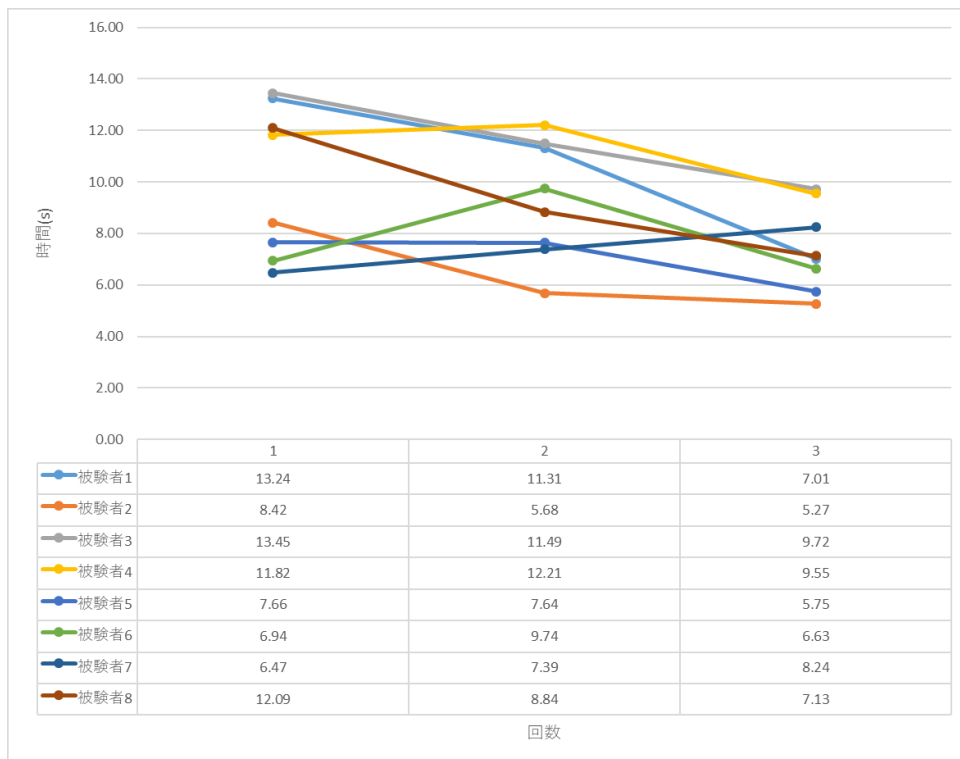


(b) iMindMap

図 22: タスク 3 の結果

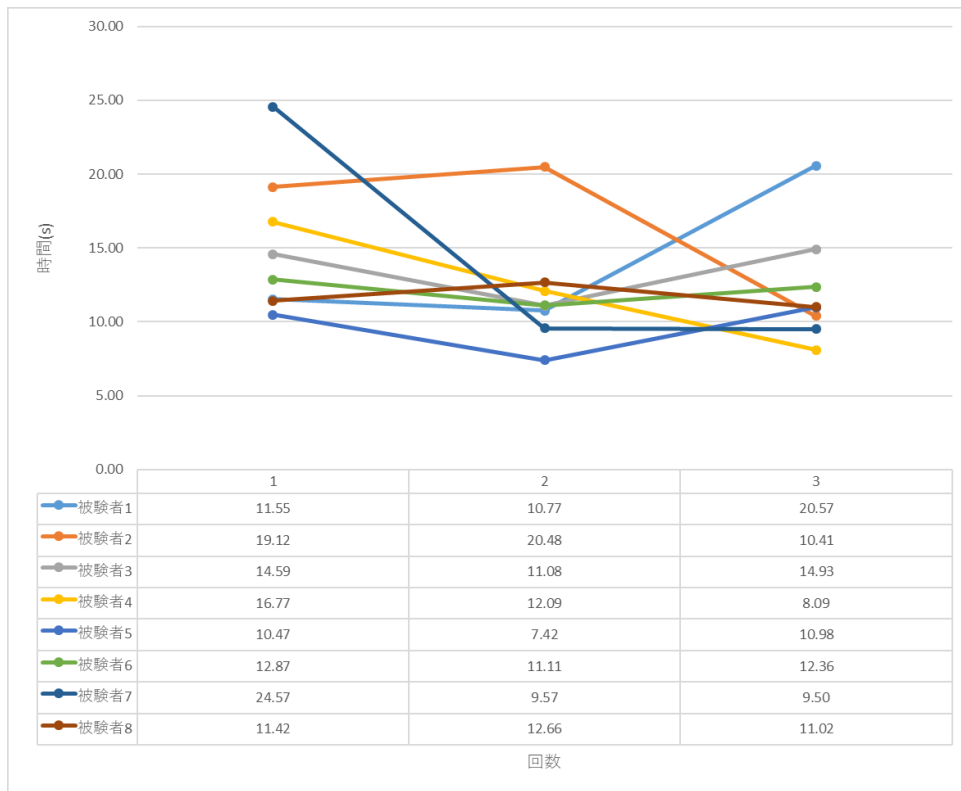


(a) MMVR

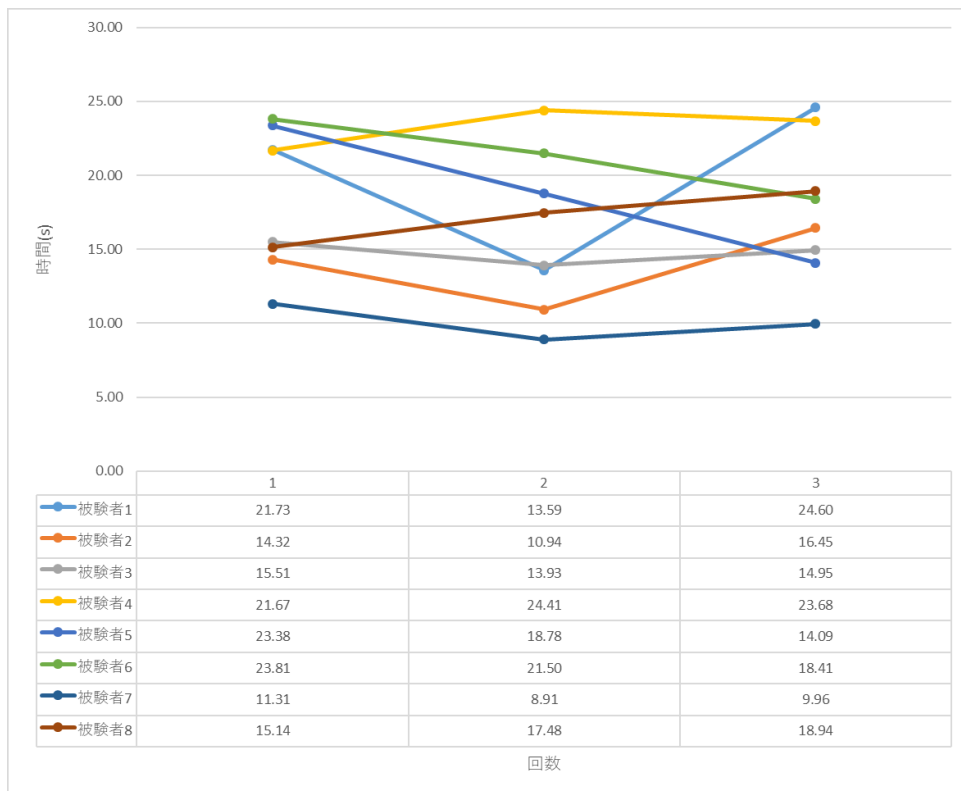


(b) iMindMap

図 23: タスク 4 の結果

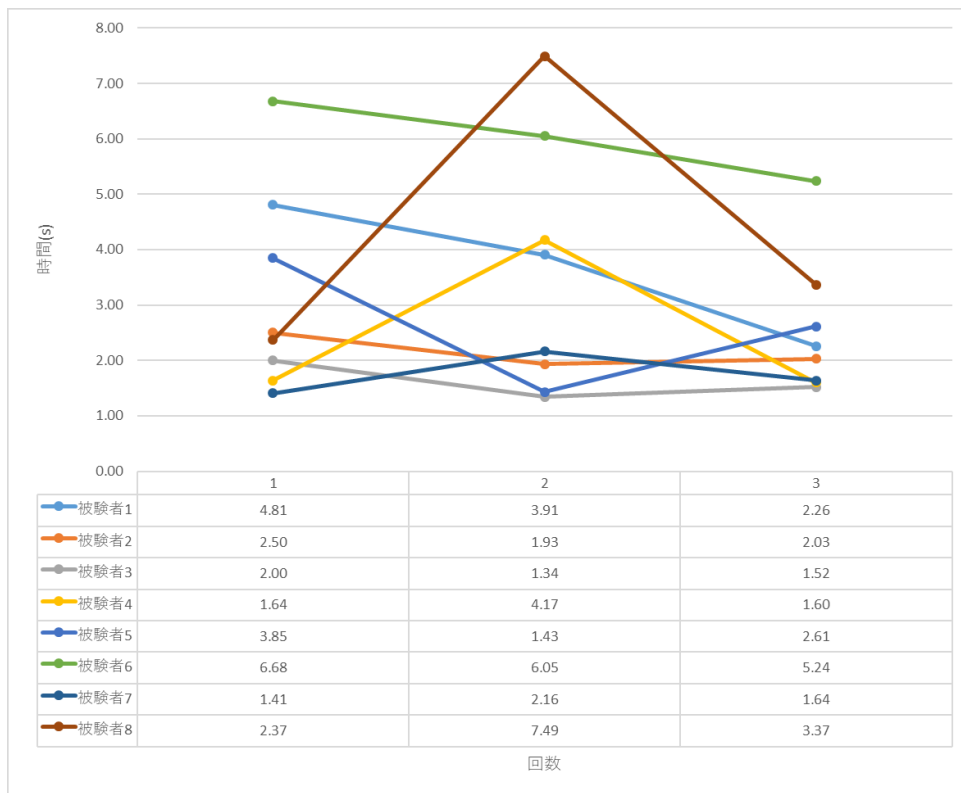


(a) MMVR

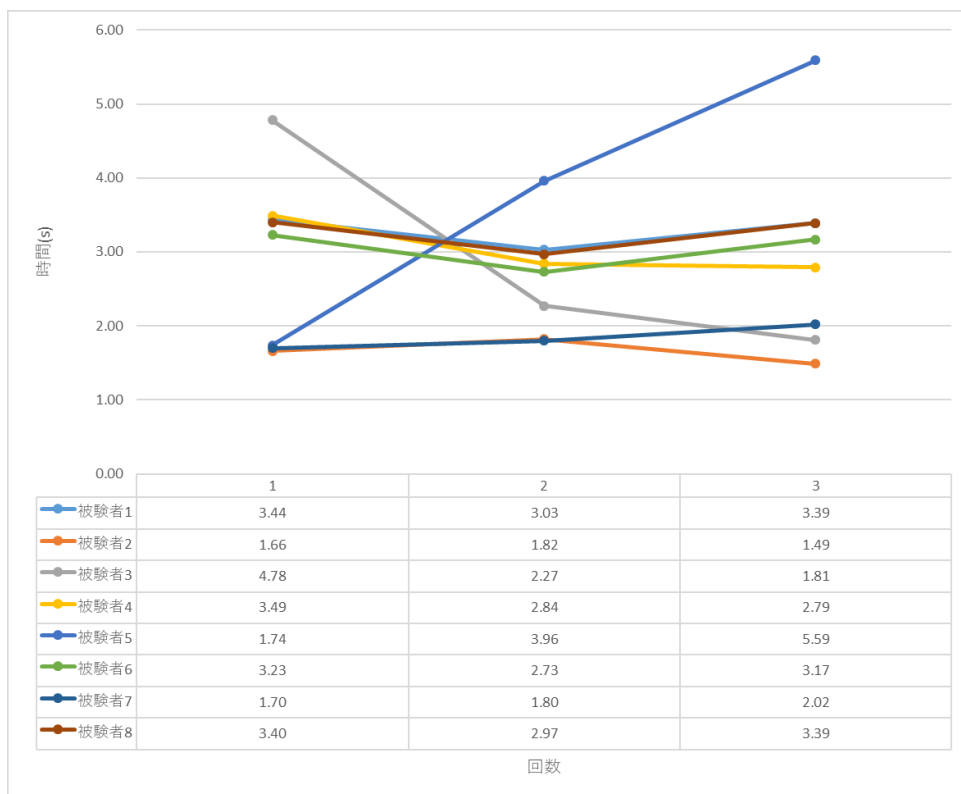


(b) iMindMap

図 24: タスク 5 の結果



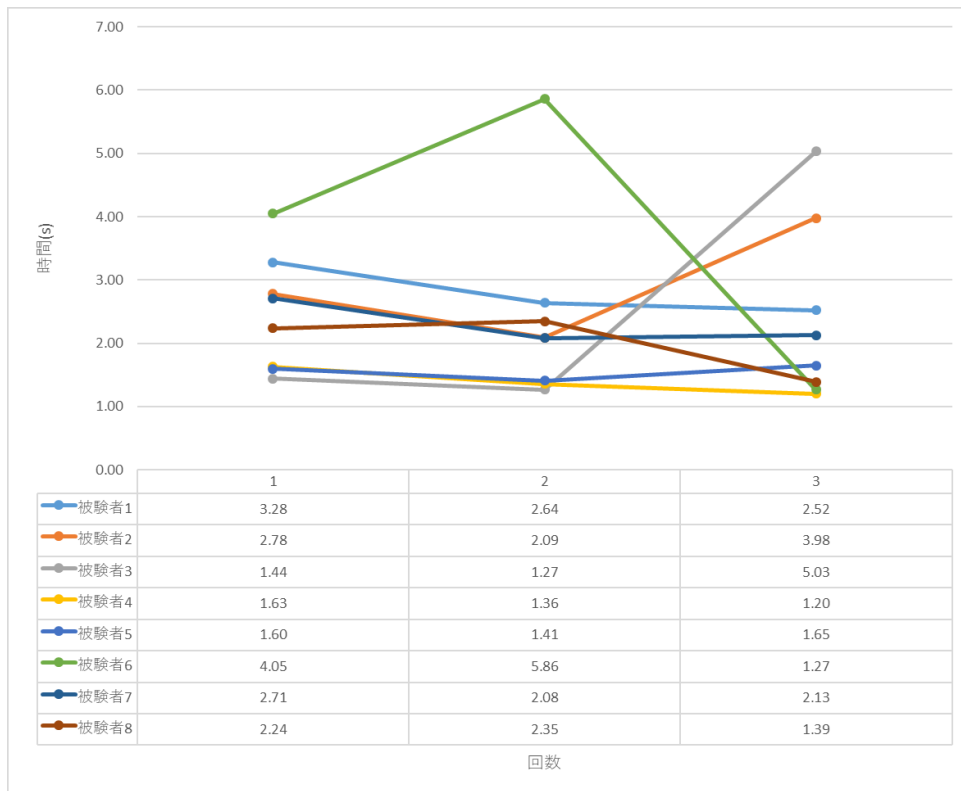
(a) MMVR



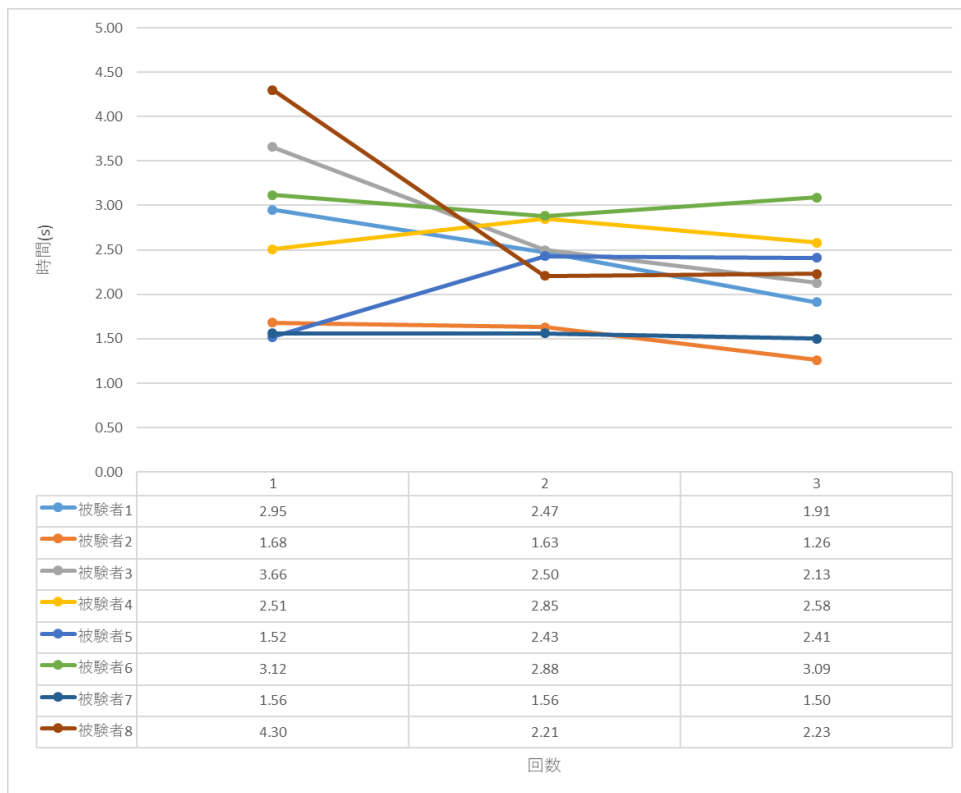
(b) iMindMap

図 25: タスク 6 の結果





(a) MMVR



(b) iMindMap

図 26: タスク 7 の結果

## 6.7 アンケート

評価実験1の全タスク終了後、被験者に対しアンケートを渡し、ジェスチャへの感想、システムのオブジェクトや全体への感想について尋ねた。

### 6.7.1 ジェスチャの操作性について

被験者に対し「各種操作（ジェスチャ）は思い通りにできましたか」という題目で、タップ、ドラッグ、ダブルタップ、ブランチの作成、ブランチの削除、キーワードの削除、キーイメージの削除について5段階評価で回答させたところ、表3のような結果が得られた。なお、評価は「できない」を1、「できた」を5とし、iMindMapに無い操作であるタップ、ドラッグ、ダブルタップは無記入にした。

表 3: 操作性の評価

操作\被験者番号	MMVR								iMindMap							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
タップ	5	4	5	5	5	5	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-
ドラッグ	5	4	5	5	5	5	5	3	-	-	-	-	-	-	-	-
ダブルタップ	5	4	3	2	4	4	4	3	-	-	-	-	-	-	-	-
ブランチの作成	5	4	5	4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	4	5	4
ブランチの削除	5	5	5	5	4	3	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5
キーワードの変更	4	3	3	1	5	4	4	5	5	4	5	5	5	4	4	4
キーイメージの変更	4	4	3	1	5	4	4	5	5	4	5	5	3	4	3	3

### 6.7.2 ジェスチャの覚えやすさについて

被験者に対し、「各種操作ジェスチャは覚えやすいものでしたか」と尋ね、タップ、ドラッグ、ダブルタップ、ブランチの作成、ブランチの削除、キーワードの削除、キーイメージの削除について5段階評価で回答させた所、表4の結果が得られた。なお、評価は「覚えにくい」を1、「覚えやすい」を5とし、iMindMapに無い操作であるタップ、ドラッグ、ダブルタップは無記入にした。

表 4: ジェスチャの覚えやすさの評価

操作\被験者番号	MMVR								iMindMap							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
タップ	5	5	4	5	5	5	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-
ドラッグ	5	5	5	5	5	5	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-
ダブルタップ	5	5	4	2	5	4	5	4	-	-	-	-	-	-	-	-
ブランチの作成	5	5	4	5	5	5	5	5	3	4	4	5	5	3	4	4
ブランチの削除	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5
キーワードの変更	5	4	3	5	5	4	5	5	2	5	4	5	5	5	2	4
キーイメージの変更	5	4	3	5	5	4	5	5	2	4	4	4	3	4	2	4

### 6.7.3 オブジェクトの表示について

被験者に対し、「各種システムの表示、表現は見やすかったですでしょうか」と尋ね、セントラルイメージ、ブランチ、キーワード、キーイメージについて5段階評価で解答させた所、表5の結果が得られた。なお、評価は「見にくい」を1、「見やすい」を5とした。

表 5: 表示についての評価

操作\被験者番号	MMVR								iMindMap							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
セントラルイメージ	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ブランチ	5	3	3	5	4	4	5	4	5	3	5	5	5	4	5	3
キーワード	5	3	5	5	4	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	4
キーイメージ	5	4	5	5	5	3	3	4	5	4	5	5	5	4	3	4

### 6.7.4 各システムについての感想

最後に、MMVR と iMindMap の両システムに対して、「その他現時点で各システムについて感じた事がありましたら記入して下さい」と自由記述で尋ねたところ、表6のような操作に関して、ユーザインタフェースに関して、デザインに関して、検索に関して、速度に関しての意見が得られた。

表 6: 各システムについての感想

種別	被検者	内容
操作	1	iMindMap はキーワードとキーイメージでの操作が異なるので覚えにくかったです。
	4	ダブルタップはコツをつかまないと、難しかった
	5	どちらも操作の手順がシンプルで覚えやすかった。
	6	MMVR はジェスチャの判定がシビアだったが、コツを掴むと使いこなせた。
	6	iMindMap は各操作にアイコンが付いており簡単に操作できたが、マウスとキーボードを行ったり来たりで少し面倒だと感じた。
	8	単純に自分が VR 機器に不慣れなこともあり、マウスによる操作が楽であったように思う。
ユーザインタフェース	7	音声待ちの表示はブランチ上の方が良いと感じた。目の前固定だと邪魔になる。
デザイン	3	ブランチが三次元的に展開できるからそれを利用した独自のマインドマップが作れるかもしれない
音声入力と検索	2	子音が反応しない(しにくい?) 事があった (ex. shiryō)
	3	音声認識による画像検索は iMindMap より便利
	4	音声認識がうまくいかず、キーワードやキーイメージの変更を何度も失敗した
	8	MMVR は画像の検索が軽快かつ的確でビジュアル的な面で、とても有用だと思った。
	8	また、キーワードの入力が同音異義のものは入力できない状態だったのが気になった。
速度	4	まちがってブランチを作った時に、音声入力をまつのがテンポが悪くなると思った
	5	MMVR の反応も良いと感じた。

## 6.8 考察

### 6.8.1 タスク結果について

7つのタスクについて、図 20-26 の結果で被験者毎の平均タスク完了時間は図 27-33 の様になった。ここでタスク全てに対し被験者ごとの平均と3回目のタスク完了時間について5%有意水準の両側 t 検定（以下全有意差検定は5%有意水準の両側 t 検定で行った）で MMVR と有意差が出たものについて調べた所、タスク3の平均と3回目、タスク5の3回目で有意差が出たことがわかった。また、全被験者の各ソフト各タスク毎平均完了時間と3回目のタスク毎平均完了時間は図 34, 図 35 のようになったが、いずれも5%有意水準の両側 t 検定で MMVR と有意差は無かった。

タスク1のキーワード付きブランチの作成時間については、全平均と3回目ですべて有意差は無かったも

の、iMindMapの方が全被験者の全試行平均と3回目平均タスク完了時間で早くなる傾向が見られた。しかし、3回目ではMMVRとiMindMapの完了時間が近接していることや、音声入力部の改善余地があることから更に差を縮められると考えられる。

タスク2のキーイメージ付きブランチの作成時間については、全平均と3回目いずれも有意差は無かったものの、全平均と3回目平均ともにMMVRの方が速いという結果が得られた。これはiMindMapでキーイメージを配置するために必要な操作がブランチの選択、画像ウィンドウの表示、検索する文字を入力する、検索結果の画像を選ぶ、と手順が多かったのが原因と考えられる。

タスク3のキーワードとキーイメージ付きブランチの作成時間については、全平均と3回目で有意差が見られ、MMVRの方が有意に遅いという結果が得られた。これは音声待機時間、音声解析時間、それに加えキーイメージの作成では音声解析結果を受け画像の検索、調べた画像のダウンロードと非常に長いプロセスを経た事が原因と考えられる。その為、音声入力の待機時間、及び画像のダウンロードが速やかに行えるよう音声入力のリアルタイム処理を受け予め必要な画像をダウンロードしておく等の対策が考えられる。

タスク4のキーワードの変更については、全平均と3回目いずれも有意差は無いが、両方共iMindMapの方が速いという結果が得られた。これはタスク1同様、音声入力の待機時間の見直しにより改善できると考えられる。

タスク5のキーイメージの変更については、3回目のみ有意差が見られ、MMVRの方が有意に速いという結果が得られた。これはタスク2と同様、iMindMapのキーイメージ切り替えに必要な手順が、元のキーイメージの選択し削除、ブランチを選択し画像ウィンドウの表示、検索、画像選択と必要なプロセスがMMVRに比べ圧倒的に多かったためと考えられる。しかし、iMindMapの経験者である被験者7は、その中でもiMindMapの平均タスク完了時間がMMVRより4秒以上も短くなった事がわかった。これは被験者7がiMindMapに既に慣れていていた事が原因と考えられる。

タスク6,7のブランチ削除については、全平均と3回目のいずれも有意差が見られなかった。また、両者の平均タスク完了時間が近いが、これはMMVRは2本指を立てた状態でブランチ中央のジェスチャ領域に触れる、iMindMapはブランチを選択しBackSpaceキーを押すとプロセスがともに短いために起こったとかがえられる。

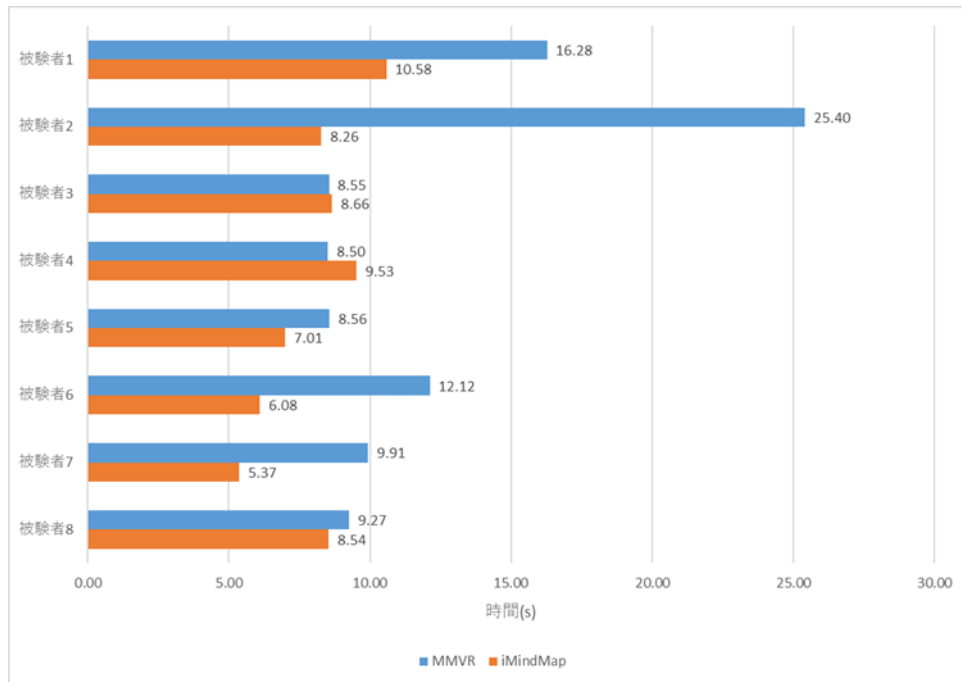


図 27: タスク 1 被験者毎平均

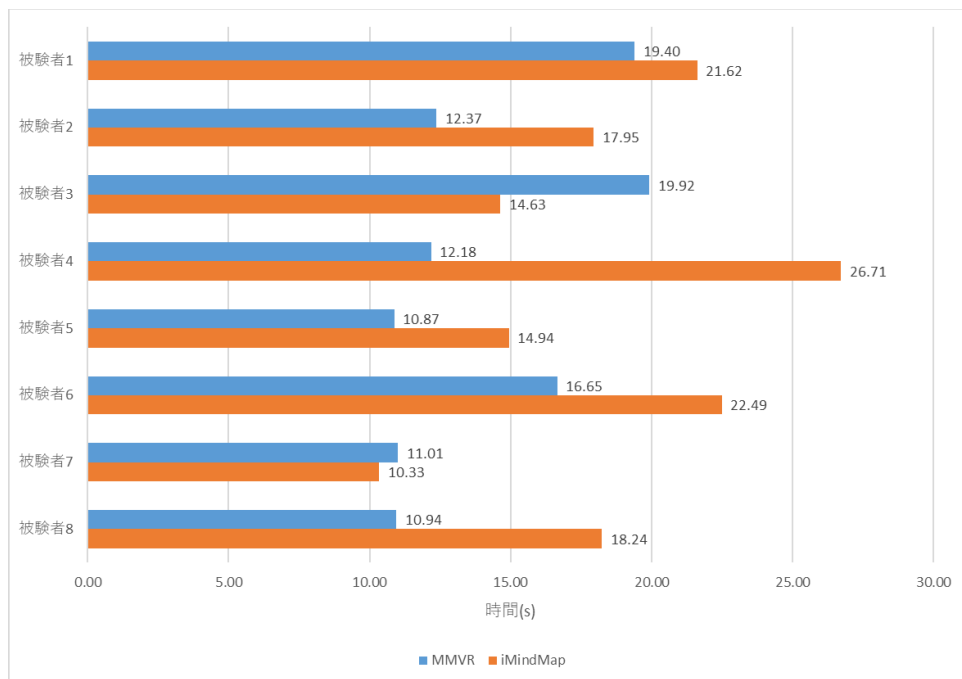


図 28: タスク 2 被験者毎平均

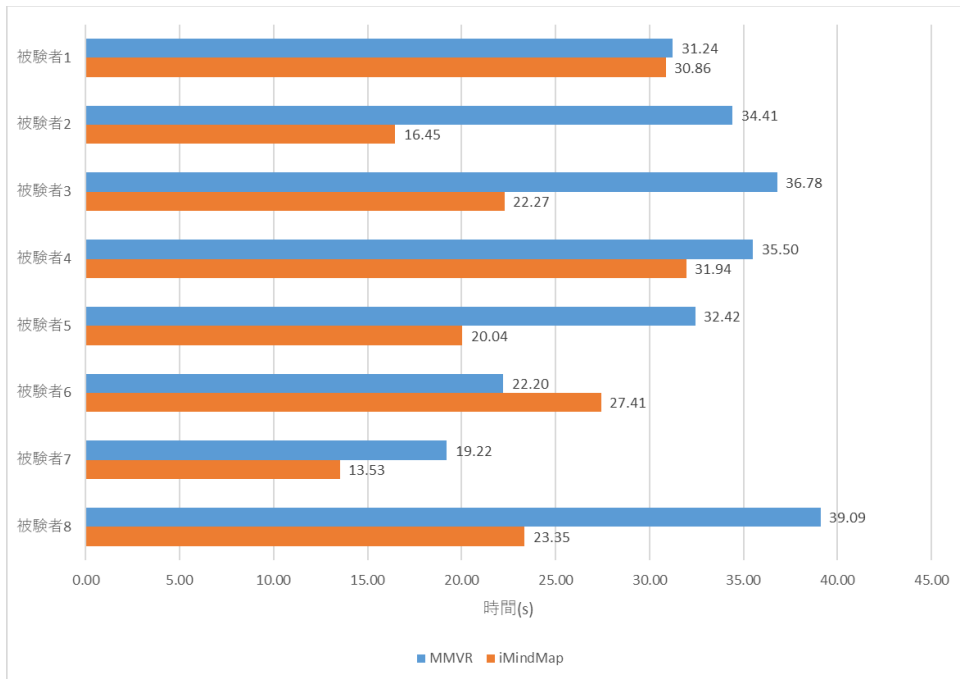


図 29: タスク 3 被験者毎平均

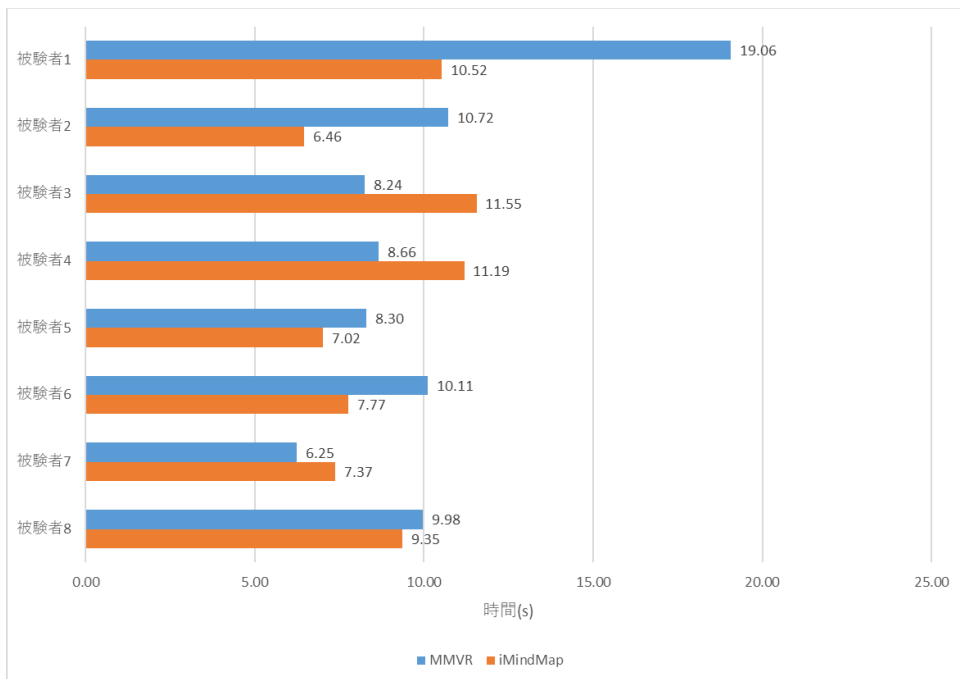


図 30: タスク 4 被験者毎平均

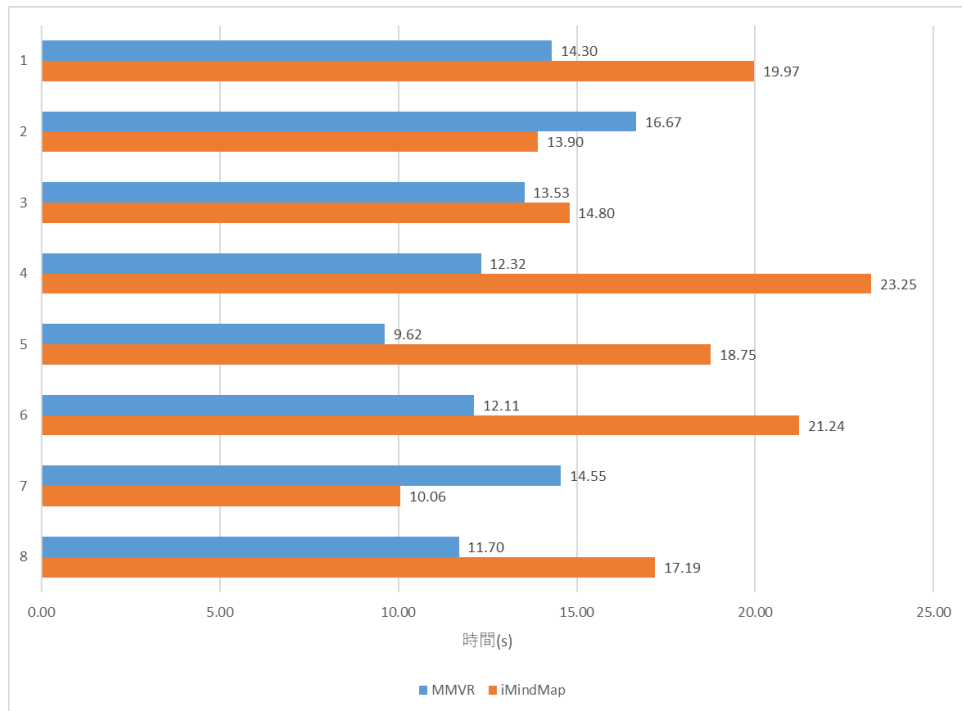


図 31: タスク 5 被験者毎平均

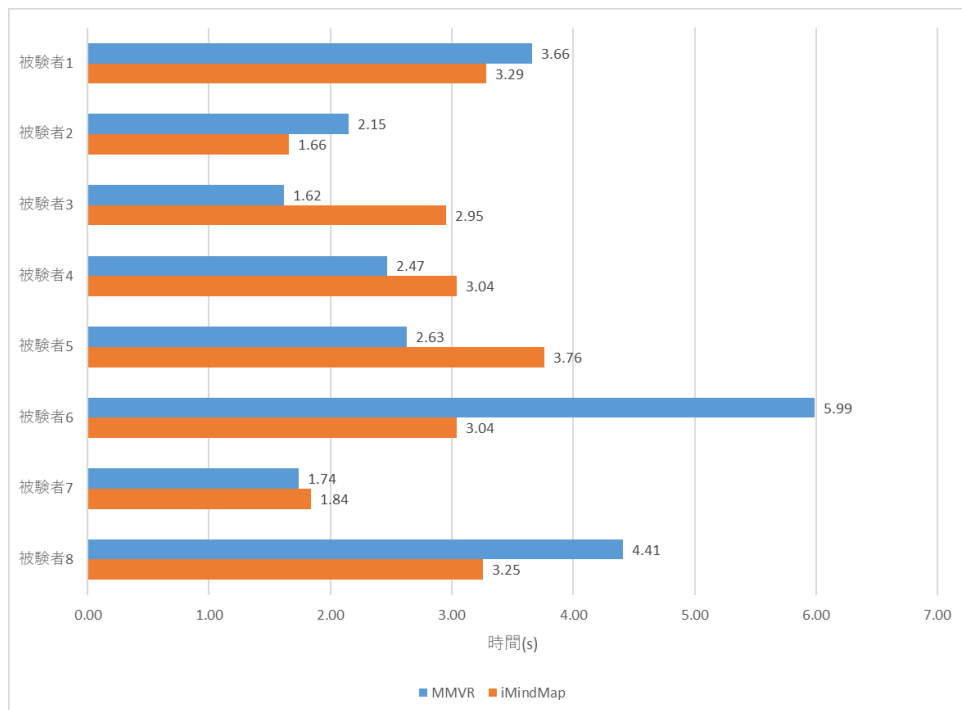


図 32: タスク 6 被験者毎平均



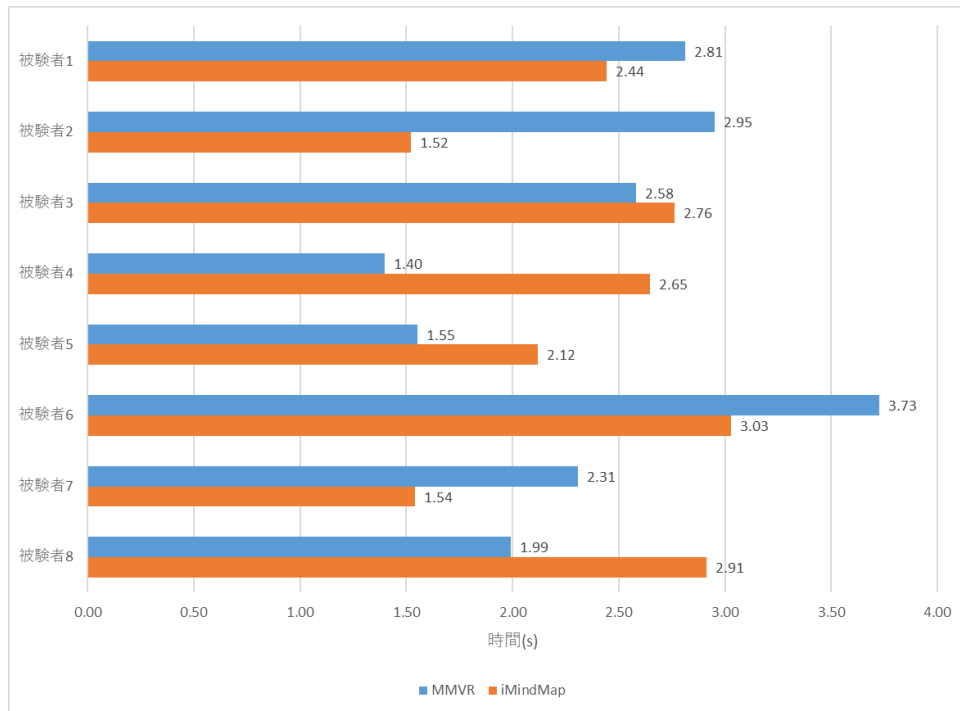


図 33: タスク 7 被験者毎平均

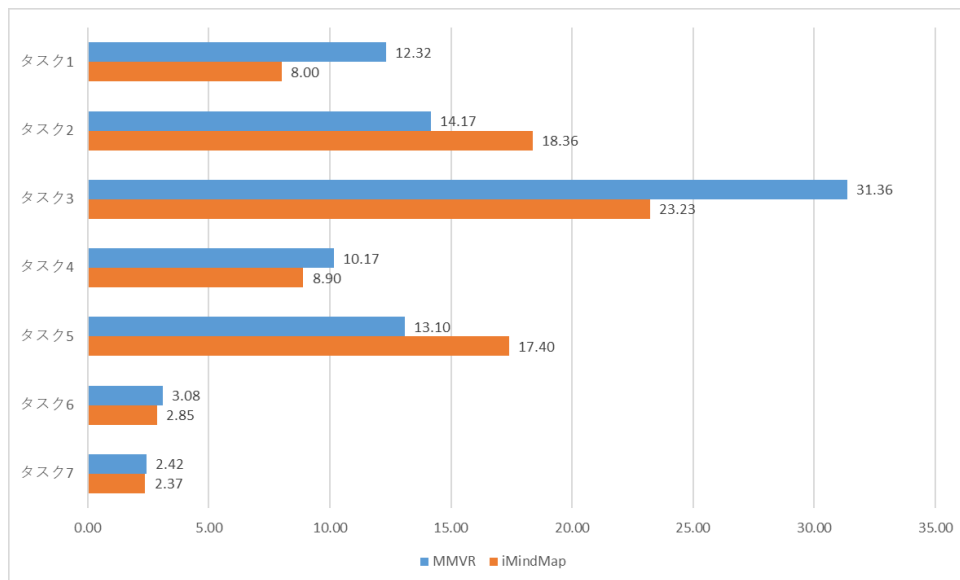


図 34: 各タスク全試行 全被験者平均

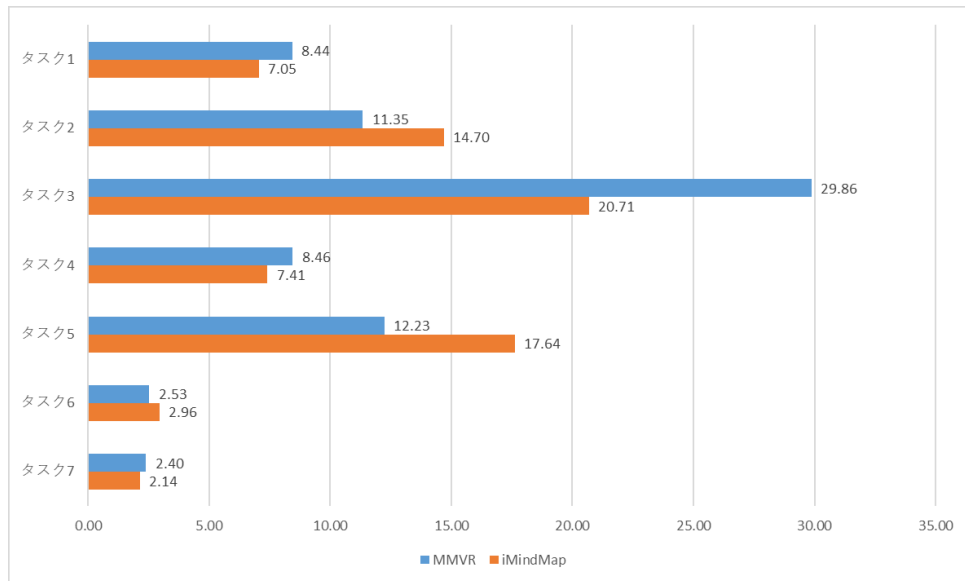


図 35: 各タスク 3 回目 全被験者平均

### 6.8.2 ジェスチャの操作性について

ジェスチャの操作性について尋ねた表 3 のアンケート結果より各ソフトウェア、各操作の平均スコアを表 7 に示した。

この結果より、MMVR と iMindMap の共通操作はいずれも iMindMap の方がスコアが高いことがわかった。中でも、キーワードの変更とキーイメージの変更のスコアが低い一方、これらの操作に必要なタップのスコアが 4 を超えていることから、ジェスチャ操作でなく、音声入力の評価が下がったものと考えられる。事実、表 6 にあるように、音声入力に関しては被験者 2, 4, 8 が言及しており、発声の関係か音声入力の成功率に大きな差が見られた事がスコアが低い原因として考えられる。その為、音声認識のエンジンをより精度の高い方法へ変更したり、マイクの質を上げる等、音声入力の成功率を上げる方法を模索する必要がある。

また、タップ、ドラッグ、ダブルタップのジェスチャについては、ダブルタップの評価が低い事がわかった。これは表 6 で被験者 4 が言及しているとおおり、ダブルタップはコツが必要だと感じられた事が原因と考えられる。実際実験中に被験者がダブルタップをする際の行動を観察した所、ジェスチャ領域に人差し指の指先が入る度にタップとダブルタップが切り替わるようにしていた関係上、中空のジェスチャ領域を人差し指が突き抜け、それが戻ってきた際に再度ジェスチャ領域に入ってきたと認識され、ダブルタップがタップに戻る現象が発生したためと考えられる。その為、これを改善するために、タップとダブルタップの切り替わる角度について制限を設ける必要がある。

表 7: 操作性の評価 全被検者平均

	MMVR	iMindMap
タップ	4.63	-
ドラッグ	4.63	-
ダブルタップ	3.63	-
ブランチの作成	4.50	4.75
ブランチの削除	4.50	5.00
キーワードの変更	3.63	4.50
キーイメージの変更	3.75	4.00

### 6.8.3 ジェスチャの覚えやすさについて

ジェスチャの覚えやすさについて、表 4 のアンケート結果より各ソフトウェア、各操作の平均スコアを表 8 に示した。

この結果より、MMVR と iMindMap の共通操作はいずれも MMVR の方が覚えやすさのスコアが高いことがわかった。この内、ブランチの作成については有意差があり、MMVR が有意に覚えやすいということがわかった。これについては、表 6 で被検者 1 が iMindMap はキーワードとキーイメージの操作が異なるので覚えにくいといった意見があったことより判断できる。また、iMindMap におけるキーイメージの変更に関しては全体で唯一スコアが 3 台と低いが、これは必要な操作手順が多かったのが原因ではないかと考えられる。

表 8: ジェスチャの覚えやすさ 全被検者平均

	MMVR	iMindMap
タップ	4.88	-
ドラッグ	5.00	-
ダブルタップ	4.25	-
ブランチの作成	4.88	4.00
ブランチの削除	4.88	4.88
キーワードの変更	4.50	4.00
キーイメージの変更	4.50	3.38

### 6.8.4 オブジェクトの表示について

オブジェクトの見やすさについて、表 5 のアンケート結果より、各ソフトウェア、各操作の平均スコアを表 9 に示した。この結果より、全オブジェクトについて iMindMap の方が MMVR のものよりスコアが高く、見やすさにおいて iMindMap の方が好まれた事がわかった。なお、有意差はいずれも無かった。

表 9: オブジェクトの表示について 全被検者平均

	MMVR	iMindMap
セントラルイメージ	5.00	5.00
ブランチ	4.13	4.38
キーワード	4.38	4.88
キーイメージ	4.25	4.38

### 6.8.5 アンケート結果について

最後に、表 6 で示したシステムやジェスチャ等に関して自由回答させた結果について述べる。

まず操作について、MMVR については被検者 5 が表 4 のジェスチャの覚えやすさ同様操作が覚えやすいと評価した一方、被検者 4, 6 のように操作が慣れないと難しいといった評価より、使用初期の操作が困難であることが判明した。

次に、ユーザインタフェースについては被検者 7 が音声待ちの表示が図 13 の様に正面に表示されるものは邪魔になるので、生成しているブランチ上が良いのではないかという感想があがった。本研究では次々操作する際に何がおきているか判別させるため正面に出したが、どちらが好まれるのかについては未調査な為、両パターンを用意した上でどちらを採用すべきか判断したい。

デザインについては、被検者 3 がブランチが三次元的に展開できるためそれを利用した独自のマインドマップを作成できるのではないかという可能性に付いて言及した。独自のマインドマップについてはブザンの著書にてデザインを大きく工夫したマインドマップが行われているため、視認性を確保しつつ、ブランチだけに依らないより自由なマインドマップの作成を考える必要がある。

音声認識と検索については、不便さについて被検者 2, 4, 8 が言及し、子音が反応しない、音声認識がうまくいかずキーワード等の変更を何度も失敗した、同音異義が入力できないといった意見が出された。音声認識の不具合についてはより精度を上げるため、予め機械認識されやすいように話す訓練や、音声認識 API を精度がより高いものに変更することや、マイクを変える事で解決する必要がある。また、同音異義語に関しては音声認識で完全に行う事は困難であるため、いくつか候補を提示し選択式にすることで解決できると考えられるが、選択に必要なジェスチャや同時操作している際に選択させるか等問題があるため、今後の検討が必要である。一方、好意的な意見としては、被検者 3 が MMVR の音声認識による画像検索を好んだことや、被検者 8 が画像の検索が軽快でビジュアル面でとても有用だと回答した事があった。特に被検者 8 は後述の評価実験 2 で自由にマインドマップを行かせた際、iMindMap ではキーイメージ使用数が 0 個であったが MMVR では 3 個使用したといったように、使用率に差が出たことから MMVR のキーイメージ検索システムは好意的に受け止められた事が考えられる。

## 7 評価実験 2

### 7.1 概要

評価実験 2 では MMVR の使用で発想がより促されるかを調べるため、被験者に MMVR と iMindMap で与えたセントラルイメージに沿って 15 分間マインドマップを作成させ、操作性に関するアンケートを取った。

## 7.2 被験者

被験者は評価実験 1 と同じ 8 人で、評価実験 1 の後休憩を挟み評価実験 2 を行った。また、本評価実験でも評価実験 1 と同様、被験者を被験者 1-8 と呼ぶ。

## 7.3 比較対象

比較対象には評価実験 1 と同様、既存の間接インタフェースを用いる iMindMap を選んだ。

## 7.4 実験環境

実験環境は評価実験 1 と同様の環境で行った。

## 7.5 実験手順

被験者には各システムを操作する準備ができ次第画面上に表示されるセントラルイメージのテーマに沿って自由に 15 分間マインドマップを作成させ、15 分間経ち次第もう片方のソフトウェアでも同様に 15 分お題に沿ってマインドマップを自由に作成させた。MMVR, iMindMap 両方のソフトウェアが終了次第、操作性に関するアンケートの記入を求めた。

なお、マインドマップを作成するテーマについては「夏期休暇の ToDo リスト (テーマ A)」と「出身地の紹介 (テーマ B)」を用意し、被験者によってどのテーマがどのソフトウェアで来るかが異なり、その被験者ごとの順番、及び与えたテーマは表 10 の通りである。

表 10: 操作するソフトウェアの順番とテーマ

被験者番号			
1, 2	3, 4	5, 6	7, 8
MMVR(A)	iMindMap(A)	MMVR(B)	iMindMap(B)
iMindMap(B)	MMVR(B)	iMindMap(A)	MMVR(A)

## 7.6 実験結果

被験者が各ソフトウェアで 15 分間で作成したブランチ、及びキーワードとキーイメージの数は図 36 のようになった。

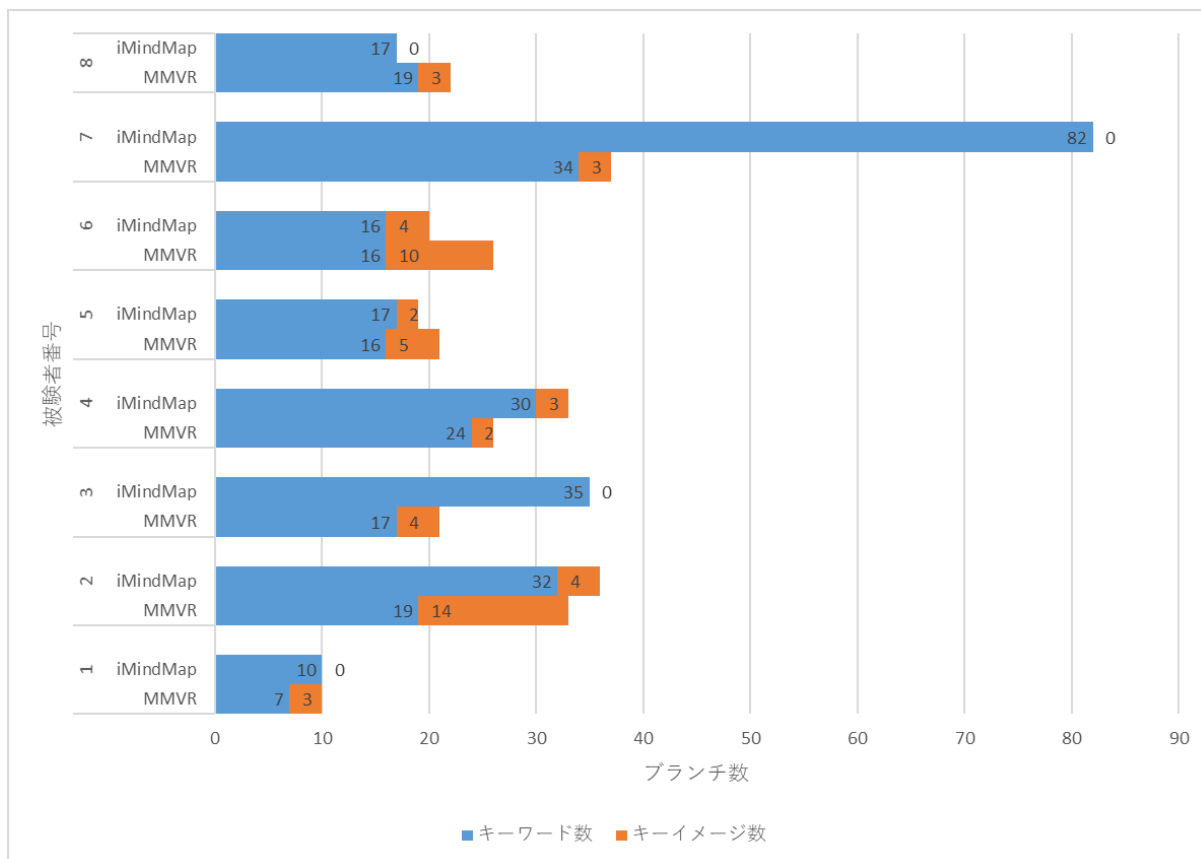


図 36: 被験者毎のブランチ数およびキーワードキーイメージの数

## 7.7 アンケート

評価実験 2 のタスク終了後、被験者に対しアンケートを渡し、ジェスチャへの感想、システムやオブジェクトや全体への感想、疲労度、1人で扱う場合はどちらが使いやすいと感じたかについて尋ねた。

### 7.7.1 ジェスチャの操作性について

被験者に対し、「各種操作（ジェスチャ）は思い通りにできましたか」と尋ね、グラフ、タップ、ドラッグ、ダブルタップ、ブランチの生成、ブランチの削除、キーワードの変更、キーイメージの変更、視点の回転、視点の移動について 5段階評価で回答させた所、表 11 の結果が得られた。なお、評価は「できない」を 1、「できた」を 5 とし、iMindMap に無い操作であるグラフ、タップ、ドラッグ、ダブルタップ、視点の回転、視点の移動は無記入にした。

表 11: 操作性の評価

操作\被験者番号	MMVR								iMindMap							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
グラフ	5	4	5	5	5	5	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-
タップ	5	4	5	5	5	5	5	4	-	-	-	-	-	-	-	-
ドラッグ	5	4	5	5	5	5	5	4	-	-	-	-	-	-	-	-
ダブルタップ	5	4	3	5	4	4	5	4	-	-	-	-	-	-	-	-
ブランチの作成	5	4	5	4	5	4	5	3	5	3	5	5	5	4	5	3
ブランチの削除	5	4	5	5	4	4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	4
キーワードの変更	5	3	3	5	5	4	5	4	5	5	5	5	5	4	5	4
キーイメージの変更	5	3	3	5	5	4	5	4	3	4	5	4	3	4	2	3
視点の移動	5	3	5	5	3	5	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-
視点の回転	5	4	5	5	4	5	2	5	-	-	-	-	-	-	-	-

7.7.2 ジェスチャの覚えやすさについて

被験者に対し、「各種操作は覚えやすいものでしたか」と尋ね、グラフ、タップ、ドラッグ、ダブルタップ、ブランチの生成、ブランチの削除、キーワードの変更、キーイメージの変更、視点の回転、視点の移動について5段階評価で回答させた所、表 12 の結果が得られた。なお、評価は「覚えにくい」を1、「覚えやすい」を5とし、iMindMap に無い操作であるグラフ、タップ、ドラッグ、ダブルタップ、視点の回転、視点の移動は無記入にした。

表 12: 覚えやすさの評価

操作\被験者番号	MMVR								iMindMap							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
グラフ	5	5	4	5	5	5	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-
タップ	5	5	4	5	5	5	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-
ドラッグ	5	5	5	5	5	4	5	4	-	-	-	-	-	-	-	-
ダブルタップ	5	5	4	5	5	5	5	4	-	-	-	-	-	-	-	-
ブランチの作成	5	5	4	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	4	5	4
ブランチの削除	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
キーワードの変更	5	4	3	5	5	4	5	5	3	5	4	5	5	5	5	5
キーイメージの変更	5	4	3	5	5	4	5	5	3	3	4	5	3	4	1	4
視点の移動	5	5	5	5	5	5	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-
視点の回転	5	5	5	5	5	5	3	5	-	-	-	-	-	-	-	-

### 7.7.3 疲労度について

被験者に対し、「各システムを使用して、体が疲れると感じた場所がありましたらその箇所を書いてください」と自由回答で尋ねた所、表 13 の結果が得られた。

表 13: 疲れると感じた身体部位

被検者	MMVR	iMindMap
1	首	-
2	目	手首
3	長く使用してると酔う	-
4	首が痛い、頭が重い、眼鏡が潰れて痛い	視力的に画像検索の文字が小さい
5	目	手
6	目	手
7	目。どうしても見開いてしまう	手。時々マウス操作が必要なので面倒
8	-	-

### 7.7.4 オブジェクトについて

被験者に対し、セントラルイメージ、ブランチ、キーワード、キーイメージそれぞれに感想や意見を自由に記入するよう尋ねた所、表 14-17 の回答が得られた。



表 14: セントラルイメージについて

被検者	MMVR	iMindMap
1	存在感があってわかりやすいです	MMVR と比べると存在感がない
2	どちらもわかりやすかった	
3	-	-
4	地元のローカルな話題を余り知らない。ブランチの始点を何箇所化にわけられたのだろうか (実験でのセントラルイメージ「出身地の紹介」についての事だと思われる)	ブランチを伸ばせる場所を選べると良いと思う
5	どちらも大きく見やすいので基点としてとても良いと感じた	
6	-	デザインが豊富だった
7	セントラルアイデアの変更方法をどうするか気になった	-
8	球体の色々な方向からブランチを伸ばせるのは面白いと思った。	-

表 15: ブランチについて

被検者	MMVR	iMindMap
1	使いやすいです	使いやすく曲線であるので分岐の様子がわかりやすいです
2	ブランチによって表示する文字や柄の向きが見にくかったりした	ブランチの生成場所があまり好ましくない所になったことが気になった
3	親のブランチほど太くなれば見やすいと思う	-
4	視点がぶれて誤操作してしまうことがある以外は普通に使える	特に言うことなく、普通の使い心地。ボタン一つで作ってくれるのは楽
5	自由に伸ばせるのは良いが、みやすさを考慮するとマップが大きくなるに連れて伸ばしていくのが大変になると思った。	毎回異なる色で枝分かれする際も自動で均等に作ってくれるので見やすかった
6	自由に作れる	変なところにブランチができる
7	ときおり微小のブランチが出来てつかみにくい。伸ばしながらキーワードの音声入力できると良いと思った。	-
8	直感的で良いが、音声入力時にもグラフの判定があり何度かブランチを引きずってしまった	文字の並びもブランチの形に合わせてグネグネしてしまうのは少し見辛かった。

表 16: キーワードについて

被検者	MMVR	iMindMap
1	音声認識のエラーなどを除けば使いやすいです	使いやすいです
2	やはり子音が反応しにくいところがある	変換後にエンターではなく文字を入力すると一文字目が確定されてしまう
3	3D で斜めに表示される時があるので、一定の傾きのほうが見やすい	-
4	練習の時と違って、音声を認識してくれたので普通に使えた	キーボードでの入力操作は割りと直感的かなと思った。
5	認識の判定がより正確になったらとても素晴らしいものになると思います	自分で打つだけなので早くて、使いやすいと思いました。
6	どちらもキーワードに関しては問題なかった	
7	伸ばし方によって文字の向きが見にくくなる。	-
8	同音異義の言葉が難しい	キーボードに慣れているため安易

表 17: キーイメージについて

被検者	MMVR	iMindMap
1	音声認識のエラーなどを除けば使いやすいです	画像が限られているので余り便利ではないと思いました
2	最近の用語も対応している	サンプルが少ないと感じた
3	-	-
4	画像を選べるといいかも	画像の変更の時、前の画像を消さないといけないのは面倒であった。
5	キーワードと同様	検索結果のバリエーションが増えれば何も言うことはありません。
6	画像によっては見えにくいものがあった	画像が少ない
7	自動でイメージを検索してくれ便利。周囲ブランチで画像を絞ればもっと良くなりそう。	イメージの置き換えのために、前イメージを消す必要があり面倒
8	検索で出る画像は的確	英語のみでしか検索できず、なかなか出ない

### 7.7.5 視点に関して

被験者に対し、各ソフトウェアにおける視点や見え方についてそれぞれ自由回答させたところ、表 18 の感想が得られた。

表 18: 視点について

被検者	MMVR	iMindMap
1	見やすいです	見やすいです
2	視野が広くて見やすかった	-
3	-	-
4	センサーに依るものなのかぐらついて操作しにくい時があった	規模が大きくなった時、逐一画面スクロールしなくてはいけなさそうで面倒だと思った
5	動けばいいだけなので見やすく、わかりやすいと思いました。	画面一つで全体を見渡せるのでとてもわかり易いと思いました。
6	自然な感じでいれば良かったので見やすかった	一点だけを見つめるので目が見つかれた
7	空間を掴んで移動する時、予想外の動きが多く感じる。もっと滑らかであって欲しい。	-
8	調整しやすかった。	いろいろな方向に伸びすぎて見にくいときもあった

### 7.7.6 1人で使う時に使いやすいシステム

最後に、被験者に対し「総合的に考えて、MMVR か iMindMap、一人で使うならどちらのシステムが使いやすいと感じましたか」と理由つきで尋ねた所、表 19 の結果となった。

表 19: 1人で使う時に使いやすいシステム

被検者	システム	理由
1	MMVR	操作が直感的であるし、使っていて楽しいから
2	MMVR	キーワード、キーイメージの変更がし易い
3	MMVR	イメージの添付がやりやすく頭の整理がしやすい
4	iMindMap	ヘッドマウントディスプレイは疲れる
5	iMindMap	動作の少なさ、見やすさ、作りやすさの観点から iMindMap のが良いと思いました。
6	iMindMap	操作性が確定だから
7	iMindMap	アイデアをすぐ書ける、という見方ならこっち。
8	iMindMap	MMVR は成熟に時間がかかりそう

## 7.8 考察

### 7.8.1 タスク結果について

評価実験2のタスクで作成したマインドマップのブランチで使われたキーワードとキーイメージ数の全被験者平均を取った所、図37のようになった。

また、両ソフトウェアのブランチ数、キーワード数、キーイメージ数について5%有意水準の両側t検定を行い、MMVRと有意差が出たものについて調べた所、キーイメージ数に有意差が出たことがわかった。このことから、MMVRはiMindMapと比べ平均ブランチ数や平均キーワード数は少なくなり発想量が減るが、キーイメージの利用率は上がる事が言える。

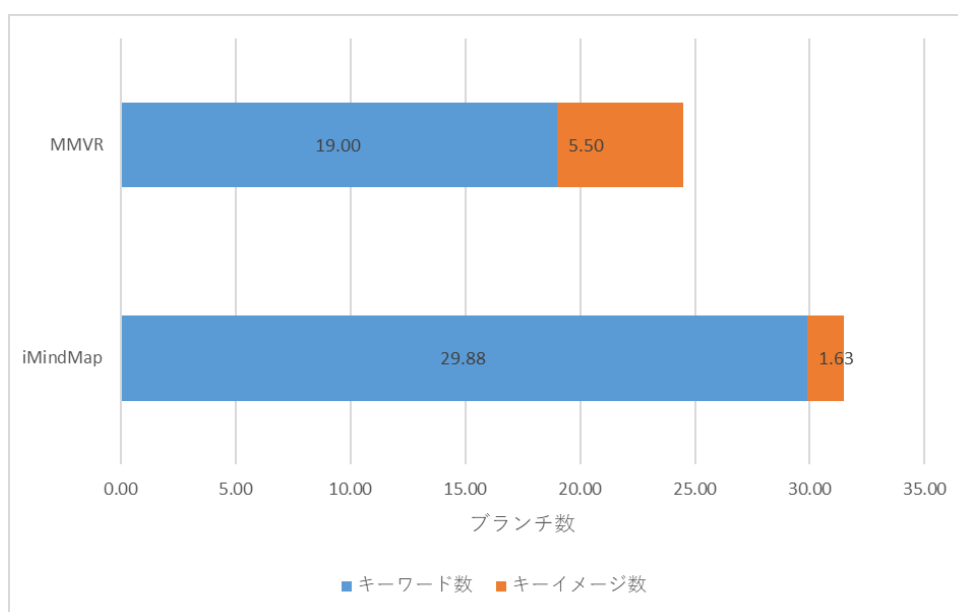


図 37: キーワードとキーイメージ 全被験者平均

### 7.8.2 ジェスチャの操作性について

表11のジェスチャの操作性について行った5段階評価のアンケートで、各被験者のスコア平均を取った所、表20の結果が得られた。このことから、MMVRとiMindMapの共通操作ではキーイメージの変更以外の項目でiMindMapの方が操作性が良いと被験者が感じたとの結果が得られた。これらの結果の原因は7.8.5節で考察する。

また、各項目に対し5%有意水準の両側t検定をそれぞれ行った所、すべての項目でMMVRとiMindMap間に有意差は見られなかった。

表 20: 操作性の評価 全被検者平均

	MMVR	iMindMap
グラブ	4.63	-
タップ	4.75	-
ドラッグ	4.75	-
ダブルタップ	4.25	-
ブランチの作成	4.38	4.38
ブランチの削除	4.50	4.75
キーワードの変更	4.25	4.75
キーイメージの変更	4.25	3.50
視点の移動	3.88	-
視点の回転	4.38	-

### 7.8.3 ジェスチャの覚えやすさについて

表 12 のジェスチャの覚えやすさについて行った 5 段階評価のアンケートで、各被験者のスコア平均を取った所、表 21 の結果が得られた。これらの結果より、MMVR と iMindMap の共通操作はブランチの作成とキーイメージの変更の操作は MMVR の方が覚えやすいと評価された事がわかった。

また、各項目に対し 5% 有意水準の両側 t 検定をそれぞれ行った所、すべての項目で MMVR と iMindMap 間に有意差は見られなかった。

表 21: 覚えやすさの評価 全被検者平均

	MMVR	iMindMap
グラブ	4.88	-
タップ	4.88	-
ドラッグ	4.75	-
ダブルタップ	4.75	-
ブランチの作成	4.88	4.50
ブランチの削除	4.88	4.88
キーワードの変更	4.50	4.63
キーイメージの変更	4.50	3.88
視点の移動	4.50	-
視点の回転	4.75	-

### 7.8.4 疲労度について

被験者に対し、システム使用後に疲れた部位があるかと訪ねた所、MMVR は首が 2 名、目が 4 人、酔いが 1 名であった。首については HMD のセットが約 500g あり負担が首にかかったこと、目と酔いについては慣

れない VR システムであった事等が考えられる。一方、iMindMap は対照的に手や手首と答えたのが 4 名、目が 1 名と異なった結果となった。

#### 7.8.5 セントラルイメージについて

セントラルイメージについての感想より、MMVR のものは被験者 1, 2, 8 のように 360 度様々な方向にブランチが伸ばせること等、好意的に受け取られた事が分かる。しかし、被験者 7 が現状の評価実験では使う予定がなく実際に実装していなかったセントラルイメージの変更方法について言及しており、この事から、今後研究を進める際にジェスチャや操作方法の選定と実装が早急に必要である。

#### 7.8.6 ブランチについて

ブランチについての感想より、問題点と改善点を述べる。

MMVR に関しては被験者 6 のように自由な場所にブランチを作成することが評価点として挙げられていた。しかし、被験者 4, 8 が指摘した「誤操作」、被験者 2 が指摘したブランチに付属するキーワードやキーイメージの向き、被験者 3 が指摘したブランチの太さ、被験者 7 が指摘した操作ミスで長さが小さくなり操作困難な「微小ブランチ」、被験者 5 が指摘したマインドマップのサイズについてマイナス面の感想が挙げられていた。

まず誤操作について、被験者 4 の指摘である「視点がぶれる」に関しては HMD のポジショントラッキングセンサーをハンドジェスチャを行う手の動きで阻害しトラッキングが不正確になることで起こっていた他、被験者 8 が指摘したグラブの判定については手のグラブはこのポジショントラッキングの不正確さにより手が本来望んでいない位置でグラブしてしまっていた、閾値が低すぎたためだと考えられる。その為、これを改善するために根本的にポジショントラッキングの方法をより正確なものに変えたりセンサーの位置を変えたり、グラブの閾値について考える必要がある。

次に、被験者 2 の指摘したブランチに付属するキーワードやキーイメージの向きに関しては、これらオブジェクトが向きの計算不足のため、ブランチが特定の角度になった際自分から見てキーワードやキーイメージがブランチの後ろや下側にオブジェクトが回転してしまうという現象<sup>\*2</sup>が発生していたためと考えられる。これは後述のキーワードやキーイメージでも同様の感想が出ており、必ず正面側になるよう実装する必要がある。

次に、被験者 3 が指摘したブランチの太さに関しては、iMindMap 同様階層が深くなったブランチは細く出したほうが良いという意見だと思われる。現状、MMVR では全階層で同じブランチのサイズであったり長さも自由なので、制限をかけたほうが全体構造が把握しやすくなる可能性がある。これと同様に被験者 7 が指摘した微小なブランチに関しても、階層により最低の長さや最長の長さを同時に設定することで、視認性の向上に繋がる可能性があるため、調査と改善が必要である。

最後に、被験者 5 の指摘したマインドマップのサイズにより拡張が困難になるのではないかという点については、現状の移動方法はポジショントラッキングによる実空間での移動と両手をグラブして上下左右に動かす移動の 2 種類があるが、前者は現状の方法だとポジショントラッキングの範囲が限定されていること、後者は 1 回あたりに移動可能な距離が短いという問題があり、実際に問題になると考えられる。その為、より広範囲に移動可能なジェスチャや、検索とジャンプによって移動を補うアプローチが考えられ、評価した上で実装する必要がある。

---

\*2 ジンバルロック

次に iMindMap のものに関しては、被験者 1, 4 のように好意的に受け止められた一方、被験者 2, 6 が指摘したようにブランチの生成場所への不満も見受けられた。iMindMap ではボタンもしくは Enter キーでブランチが生成されるが、これにより生成されたブランチの位置が自動的に空いている方に出るため、自分の望んでいた方に自動生成されなかった為に出た感想だと考えられる。

#### 7.8.7 キーワードについて

キーワードについての感想より、問題点と改善点を述べる。

まず MMVR に関して、最も多い感想は被験者 2, 5, 8 が答えた音声認識のミスに関するものだった。この改善策としては、音声解析で候補として出された結果を全て選択式にする方法が挙げられる。これを実装することによるメリットとして、被験者 8 が指摘している同音異義語入力への対策、子音の反応等、成功率が大幅に上がることが期待される。

その他の感想としては、7.8.6 節でも出たキーワードの向きについて被験者 3, 7 が指摘していた。

次に、iMindMap に関して、最も多かった感想は被験者 4, 5, 8 が指摘したキーボードに対するもので、キーボードでの入力に慣れている事、キーボードでの入力が直感的だと感じた事、手で打つだけなので速く使いやすいという感想が確認できた。

#### 7.8.8 キーイメージについて

キーイメージについての感想より、問題点と改善点を述べる。

まず MMVR に関して、7.8.7 節のキーワードに関する質問同様に被験者 1 が音声認識のエラーへの指摘があった一方、音声入力画像で画像を選ぶ事に関しての好意的な感想や改善案が得られた。この好意的な感想については、被験者 2 が「ロールアイス」のような最近の画像でも表示できた事や、被験者 8 が検索で出る画像が的確だと回答した事が挙げられる。一方改善案については、被験者 4 の画像を選べると良いと言った事や、被験者 7 の周囲のブランチを見て画像を絞れば良くなると回答した事等、画像の選定方法についての改善案が挙げられた。特に候補の選択についてはキーワードでも同様の回答があり、これを行えばエラー率は下がると考えられるため、今後の改善に必要になると考えられる。

次に、iMindMap に関しては、画像の検索について不満がある回答が多く見受けられた。この内、使用できるキーイメージの数が少ないと回答したのは被験者 1, 2, 4 で、また検索する際に日本語だと検索結果が出てくれないという不満も被験者 8 より見受けられた。これらの感想より、改善点はあるものの MMVR の画像検索システムは iMindMap のものに比べ、一定の評価を得たのではないかと考えられる。

#### 7.8.9 視点に関して

MMVR の視点に関しては、被験者 1, 2, 5, 6, 8 の様に見やすく位置も調整しやすかったという意見の一方、被験者 4 が 7.8.6 節で出たものと同様視界がぐらつくと言った感想や、被験者 7 が空間移動時予想外の動きが多く感じると言ったマイナスの感想が見受けられた。特に被験者 7 の指摘した移動時の予想外の動きに関しては両手をグラブして移動させる関係上、ハンドトラッカーの精度が大きく関わるので、HMD 前面だけでなくユーザの正面や上にも手の動きや形を追跡する装置を置き精度を上げることで改善できると考えられる。

#### 7.8.10 1人で使う時に使いやすいシステム

最後に、被験者に対し MMVR か iMindMap のどちらが使いやすいか訪ねた所、結果は表 19 となり、3 人が MMVR を、5 人が iMindMap を選択したことがわかった。

また理由をそれぞれ見ていくと、MMVR は操作、キーワードとキーイメージの変更が選択の決め手になり、全員が好意的な面を書いて MMVR を選択したことが分かった一方、iMindMap は見やすさや動作の少なさ、操作の正確さ、即時性、成熟速度が決め手になり、精度や速度の面で iMindMap が選ばれた事が分かった。しかし、被験者 4 が HMD は疲れると理由を述べ iMindMap を選んだ事など、選択した理由にシステムの出来が反映されておらずデバイスのみで判断されたパターンもあったことから、ハンドトラッカーや HMD などデバイスの進化である程度改善が見込めると考えられる。



## 8 評価実験 3

### 8.1 概要

1人で使用する際と比べ複数人でマインドマップ支援ソフトウェアを使用した際、発想数が増えるか、またどのような問題点が起こるかを調べるため、被験者をペアにし、MMVR と iMindMap それぞれについて、共同で MM を作成させた。

### 8.2 被験者

2名の被験者でグループを1組を作り、実験を行った。以降、この被験者を被験者 1, 2 と呼ぶ。

### 8.3 比較対象

比較対象は実験 1 と 2 同様、間接操作を用い作成する iMindMap を使用した。

### 8.4 実験環境

実験 1 と 2 で使用した表 1 の環境に加え、MMVR のみ表 22 の 2 台目を用意し、この環境を加えて使用した。

表 22: 使用した環境

型番	ASUS FX502VM
OS	Windows 10 Home
CPU	Mobile Intel HM175 Chipset
GPU	GTX 1060
RAM	8GB
通信	LAN ケーブル (Cat6), スイッチングハブ
ボイスチャット	Skype

### 8.5 実験手順

評価実験 3 では実験 2 と同様 15 分間各ソフトウェアを使い 2 人同時にマインドマップを作成させた。MMVR はネットワークで繋ぎ同時に編集し、iMindMap はその機能がないためディスプレイを囲み話し合いながら 1 組のマウスとキーボードで代わり代わり操作させた。なお、行ったテーマは MMVR が「シラバスの改善」、iMindMap が「コンパの企画」である。

## 8.6 実験結果

評価実験 3 にて作成したマインドマップにおいて作られたブランチ数、及び付属したキーワードとキーイメージの内訳は図 38 のようになった。この結果より、MMVR はブランチ数が合計 24 個、iMindMap はブランチ数が合計 35 個となったことが分かり、発想数は iMindMap の方が多くなるという結果が得られた。

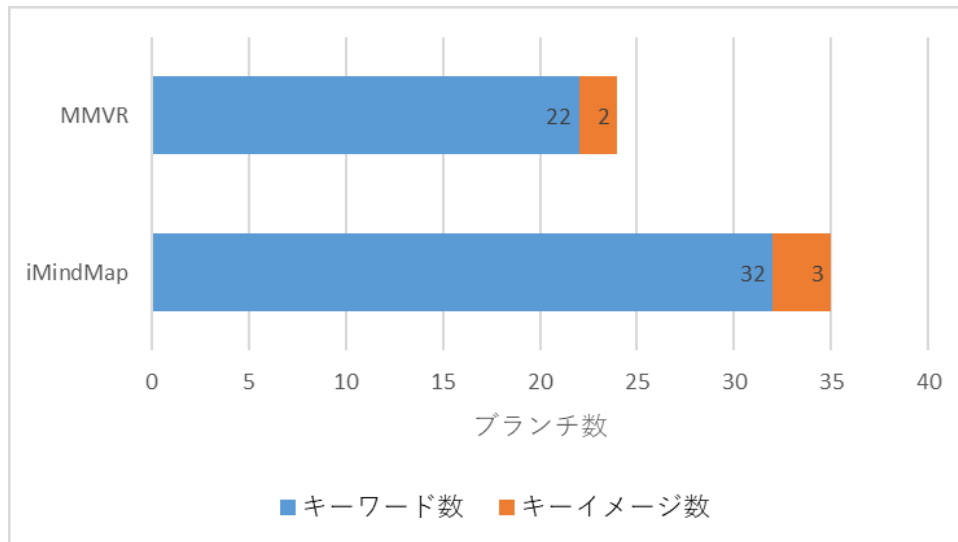


図 38: ブランチ数およびキーワードキーイメージの数

## 8.7 アンケートと考察

被験者 2 名に実験終了後アンケートを行った。

### 8.7.1 疲労した点

「二人でシステムを使用して、体が疲れると感じた場所がありましたらその箇所を書いてください」と尋ねた所、以下の意見が得られた。

- MMVR
  - 被験者 1 「目が疲れる」
  - 被験者 2 「2 人でやる分、移動と視点を動かしたりすることが増えたため、頭が重い、首が痛い、腰が痛いなどがあった」
- iMindMap
  - 被験者 1 無記入
  - 被験者 2 「特になし」

以上より、iMindMap は無かったが、MMVR は目、頭、首、腰に疲労を感じるという解答が得られた。この原因として考えられるものとして、デスクトップのソフトウェアと異なりなれない VR 空間上でのハンドジェスチャシステムを利用した点だと考えられる。また、iMindMap の様に座位で行うものではなく、立位で実空間

を移動しながら行うものであり、かつ HMD が約 600g と重量があるものだったために首や頭に負担がかかったと考えられる。

### 8.7.2 良かった点

「二人でシステムを使用した際、良かった点についての感想や意見を自由に書いてください」と尋ねた所、以下の意見が得られた。

- MMVR
  - 被験者 1 「二人同時で作業できたのは良かった」
  - 被験者 2 「二人で手分けして行えること」
- iMindMap
  - 被験者 1 無記入
  - 被験者 2 「互いにアイデアを言い合えること」

以上の解答より、MMVR の同時操作システムは概ね好評だったと考えられる。一方、iMindMap の回答において、互いにアイデアを言い合えることが iMindMap の良かった点であるという回答があった。これについては MMVR でも意思疎通を可能にするためボイスチャットを別途用意していたが、iMindMap のみの利点と捕らえられたため、MMVR における意思疎通手段を改良する必要がある。

### 8.7.3 悪かった点、困った点

「二人でシステムを使用した際、悪かった点、困った点についての感想や意見を自由に書いてください」と尋ねた所、MMVR のみ以下の意見が得られた。

- MMVR
  - 被験者 2 「角度的に見えないブランチがあって、同じブランチを作成したりした」

MMVR は仕様上ブランチやセントラルイメージの裏側にあるブランチは隠れてしまうため、これを改善する為により高速にブランチを検索する方法が求められる。

### 8.7.4 二人で使うならどちらのシステムが使いやすいか

「総合的に考えて、MMVR か iMindMap、二人で使うならどちらのシステムが使いやすいと感じましたか」を択一で尋ねた所、二人共 MMVR を選択した。また、被験者になぜ二人だと MMVR が使いやすいと感じたか尋ねた所

- 被験者 1 「疲れるけど VR の方がよりアイデアのしげきがされて MindMap がはかどる。」しげき”については「体を動かすと頭も動く」
- 被験者 2 「手分けして行えるから」

の解答が得られた。これらの解答より、二人で行う際は同時に手分けして操作可能なものが好まれるのがわかった他、体を動かしたほうが頭が動く意見から、悪かった点で上げられた疲れるデメリットだけでないこともわかった。しかし、体を動かす事で頭が動くという意見があったが MMVR の発想数は iMindMap のものより少なく矛盾する結果になった事から、サンプル数を増やす事、長期的な使用で既存のソフトウェアと比べ発想力が増えるかを確認する必要がある。

#### 8.7.5 自由感想

最後に「二人で操作した際のシステム全体についての意見提案感想を自由に記述してください」と尋ねた所、被験者2のみ回答があり

- MMVR
  - 被験者2「2人で話しながら作っていくのはおもしろかった」
- iMindMap
  - 被験者2「システム上、あまり2人でやってる気がしない」

との回答が得られた。

## 9 おわりに

### 9.1 まとめ

本研究ではマインドマップを VR 空間で、かつ複数人数での作成支援を行い、ハンドジェスチャで直接操作で制御するマインドマップ支援ソフトウェア「MMVR」を作成した。3つの評価実験により、キーイメージ作成時間が既存のソフトウェアに比べ短く行え、キーイメージの変更においては既存のものより有意に早い事が分かった他、被験者のアンケートからキーイメージ作成に関して既存のソフトウェアより発展的である事を示した。また、複数人数でマインドマップを協力して作成する際、同時に操作が行える事や手分けして作成できる事が好まれ、結果二人で使う場合総合的に考え既存マインドマップ作成支援ソフトウェアと MMVR のどちらが使いやすいと尋ねた所、MMVRの方が使いやすいという回答が得られた。

### 9.2 今後の展望

今後の展望としては、まず操作性を上げる必要があると考えられる。特に音声認識の精度やポジショントラッキングやハンドトラッキングのアンケートで被験者から悪い印象が多く上がったことから、これらの改善、評価をする必要がある。

また、複数人数で使う部分に関しては、三人以上システムを同時に使った際に既存のソフトウェアと MMVR のどちらが好まれ、また何が同時に操作する際に問題になるかを調べる必要がある。また、MMVR の環境でもよりユーザ同士がコミュニケーションを取りやすくするため、ボイスチャットのみでは無く、別のアプローチから複数の方法を使い、より活発なやり取りをしながらマインドマップを行えるよう方法を策定する必要がある。

なお、本成果は IEEE GCCE 2017[12]にて発表を行う。

## 謝辞

ご指導を頂いた中山先生、角田先生、赤池先生、並びに実験の被験者やその他の面でも日々ご助力を頂いた中山研究室、赤池研究室の皆様方に厚くお礼を申し上げます。

## 参考文献

- [1] Tony Buzan, Barry Buzan and 近田美季子: 新版 ザ・マインドマップ, ダイヤモンド社, 2013
- [2] How to Mind Map | iMindMap Mind Mapping: <https://imindmap.com/how-to-mind-map/>
- [3] 文部科学省: 教職生活の全体を通じた教員の資質能力の総合的な向上方策について(答申), [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1325092.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1325092.htm)
- [4] 片平克弘: 科学的発想力や思考力を鍛えるマインドマップを用いた授業デザインの開発と実践: 科学リテラシーの基礎となる読解力育成を目指して, 総合研究機構研究プロジェクト研究成果報告書, Vol. 5, pp305 - 306, 2007
- [5] iMindMap Mind Mapping: <https://imindmap.com/>
- [6] 川喜田二郎: 発想法: 創造性開発のために, 中央公論社, 1967
- [7] 宮杉証行, 角田博康, 赤池英夫: KJVR: ジェスチャを利用し仮想空間を用いた KJ 法支援システムの提案と評価, 第9回 エンターテイメントと認知科学研究ステーション, 2015
- [8] Google ドキュメント: <https://www.google.com/docs/about/>
- [9] Scott W. Greenwald, Wiley Corning and Pattie Maes: Multi-user framework for collaboration and co-creation in virtual reality, 12th International Conference on Computer Supported Collaborative Learning, 2017
- [10] Speech API - Speech Recognition - Google Cloud Platform: <https://cloud.google.com/speech/>
- [11] Custom Search - Google Developers: <https://developers.google.com/custom-search/>
- [12] Masayuki Miyasugi, Hideo Akaike, Yasuich Nakayama and Hiroyasu Kakuda: Implementation and Evaluation of Multi-User Mind Map Authoring System Using Virtual Reality and Hand Gestures, 2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics(GCCE), 2017