

修士論文 2020 年度（令和 2 年度）

次世代 AR ナビゲーションの研究

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

左治木 隆成

2021 年 1 月

修士論文 2020年度（令和2年度）

次世代ARナビゲーションの研究

論文要旨

WIP

キーワード

AR、ナビゲーション、NFC、Wiki、ハイパーアリンク

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

左治木 隆成

Abstract Of Master's Thesis Academic Year 2020

A L^AT_EXTemplate for Master Thesis

Summary

WIP

Keywords

AR, navigation, NFC, Wiki, Hyperlink

Graduate School of Media and Governance
Keio University

Ryusei Sajiki

目 次

第 1 章 序論	1
1.1 研究の動機	2
1.2 研究の目的	2
1.3 本論文の構成	3
第 2 章 研究背景	5
2.1 AR によるヘルプ・ナビゲーションシステム	6
2.2 AR によるヘルプ・ナビゲーションの現状	6
2.2.1 GoogleMap の AR ナビ機能	6
2.2.2 遺跡・史跡の AR ナビゲーションアプリ	6
2.3 AR によるヘルプ・ナビゲーションの問題点	7
2.4 テキストや画像の進化	9
2.5 NFC 技術とインタラクション	9
2.6 まとめ	10
第 3 章 設計	11
3.1 要件	12
3.2 HypAR Touch	12
3.2.1 基本構成	12
3.2.2 使い方	14
第 4 章 実装	27
4.1 アプリケーション構成	28
4.1.1 HypAR Touch アプリ	28
4.1.2 HypAR Touch サーバ	29
4.1.3 Scrapbox	30
4.1.4 Gyazo	30
4.1.5 NFC タグ	30
4.2 NFC によるキャリブレーション	31
第 5 章 応用例	33
5.1 駅など公共施設での案内	34
5.2 近隣施設の探索・推薦	35

5.3 学習教材としての利用	35
5.4 リンクを利用した柔軟な記法	35
5.5まとめ	36
第6章 関連研究	39
6.1 主要な研究領域	40
6.2 ARをナビゲーションに利用する研究	40
6.2.1 A Touring Machine	40
6.2.2 Feature-Based Indoor Navigation Using Augmented Reality	40
6.2.3 Wikitude	41
6.3 AR・VR情報の整理・関連情報推薦にハイパーリンクを利用する研究	42
6.3.1 VAnnotatoR	42
6.4 NFCをナビゲーションに利用した研究	43
6.4.1 Development of an Indoor Navigation System Using NFC Technology . .	43
第7章 考察	47
7.1 評価	48
7.1.1 意見・感想	48
7.1.2 筆者の運用経験	48
7.1.3 問題点・要望	48
7.2 考察	49
7.2.1 設計の妥当性	49
7.2.2 解決すべき課題	49
7.2.3 問題点の検証	50
第8章 結論	51
8.1 研究の成果	52
8.2 総括	52
謝辞	53
参考文献	54

図 目 次

2.1	GoogleMap での AR 表示	7
2.2	専用のマーカー	8
2.3	AR での案内	8
3.1	Scrapbox の画面	13
3.2	Scrapbox の関連ページリスト	14
3.3	NFC タグにタッチする様子	15
3.4	AR での表示	16
3.5	スライダーによる距離指定	16
3.6	カーソルを重ねた状態	17
3.7	選択した状態	17
3.8	関連情報の選択	18
3.9	詳細を表示するボタン	19
3.10	Scrapbox での情報表示	19
3.11	移動ボタン	20
3.12	Map での移動アニメーション	20
3.13	移動先での表示	21
3.14	進むボタンと戻るボタン	22
3.15	新しくページを作成した時	23
3.16	Scrapbox に貼り付けた画像	23
3.17	Scrapbox 上の画像と AR での表示	24
3.18	Scrapbox 上のリンクと AR での表示	24
3.19	NFC に書き込む URI データ	25
3.20	モバイルアプリでの登録	25
3.21	web アプリでの登録	25
4.1	構成図	28
4.2	Custom URL Scheme	31
5.1	案内の様子	34
5.2	出口だけの案内	34
5.3	キー用品店を選択した時	36
5.4	飲食店を選択した時	36

5.5	リンクを利用したルートの表記例	37
6.1	A Touring Machine	41
6.2	A Touring Machine	42
6.3	VAnnotatoR での AR 表示	44
6.4	NFC Internal のイメージ	45

表 目 次

第1章 序論

本章では本研究の動機と目的、および本論文の構成について述べる。

1.1 研究の動機

拡張現実感 (AR : Augmented Reality) によるヘルプ・ナビゲーションの歴史は長く、早いものでは1990年代から存在している。また AR にはヘッドマウントディスプレイを使うものと携帯端末のカメラを通した映像に情報を付加するものが存在するが、後者は近年のスマートフォンの普及と高性能化により利用環境が整って来ている。しかし既存の AR ナビゲーションシステムには以下のような問題点があり、AR が汎用的なヘルプ・ナビゲーションシステムとして利用されていない現状がある。

- 環境を問わず正確で安価に位置測位をすることが難しい
- 表示する情報の登録・編集が煩雑で参照や管理が面倒
- 案内を起動するまでの負荷が高い

一方で AR でも頻繁に扱われるテキストや写真、地図などのマルチメディア情報は計算機の進歩と web の発展とともに以下のような進化を遂げた。

- 他の文書への参照を実現するハイパーリンクと、それを内包した文書であるハイパーテキストが登場した
- Web の普及によって様々なメディアにハイパーリンクを経由して手軽にアクセスできるようになった
- web からアクセス可能な地理情報システムが登場し地理情報の紐付けが用意になった
- コラボレーションツールである Wiki が複数人による共同編集を可能にし、知見の共有を実現した

さらにモバイル端末の高性能化により多くの端末で近距離無線通信 (NFC : Near Field Communication) による非接触タグの読み書き機能が搭載されるようになっている。NFC による非接触タグには以下のようない利点が存在する。

- タグ側に電力を必要とせず、小型化できるためタグを設置する場所や物を選ばない
- 個別の ID や URL 情報を記録するには十分な記憶容量を持つ
- 読み取り側で検知した時の動作をある程度規定できる

このような利点はヘルプシステムやナビゲーションシステムに利用するにあたって非常に有用なものであると考える。

本研究では NFC タグの利点を AR の正確な位置測位とコンテキスト情報の取得に活かしつつ、AR 情報の管理に Wiki の手法を取り入れたシステムを開発し、既存の AR ナビゲーションシステムが抱える問題点を解決した。

1.2 研究の目的

本研究では、第 1.1 節で述べた AR ナビゲーションシステムが持つ問題点を解決する AR ナビゲーションシステム「HypAR Touch」の構築を目的とする。

1.3 本論文の構成

本論文は以下の 8 章で構成される。

第 2 章では、本研究の背景をより詳細に分析し、既存システムの問題点を整理する。

第 3 章では、本論文で提案するシステムの基本構成と使い方について述べる。

第 4 章では、本論文で提案するシステムの詳細な実装について述べる。

第 5 章では、本論文で提案するシステムの利用例を紹介する。

第 6 章では、関連する研究を紹介し、それらの特徴や本研究との関連を述べる。

第 7 章では、筆者による運用経験やユーザーからのフィードバックをまとめ、本論文で提案するシステムの有効性と問題点について述べる。

最後に、第 8 章で本論文のまとめと結論を述べる。

第2章 研究背景

本章では既存の AR ナビゲーションシステムの現状と、その問題点を整理する。

2.1 ARによるヘルプ・ナビゲーションシステム

ARによる表示をヘルプやナビゲーションシステムに利用する研究は90年代はじめから存在する。初期の有名な例としてはプリンタのメンテナンス情報をARで表示するプロトタイプである、KARMA[2]や大学構内の案内をARで表示するナビゲーションシステムであるA Touring Machine[1]が挙げられる。これらはヘッドマウントディスプレイを利用したものであるが当時のヘッドマウントディスプレイは非常に大型で性能の限界もあり実用的とは言えないものであった。

その後2000年代になりモバイル端末が普及するとGPSと方位などの情報をもとにカメラを通して周囲の情報をディスプレイに表示するアプリケーションが現れるようになった。代表的なものとしてWikitude¹が挙げられる。

2.2 ARによるヘルプ・ナビゲーションの現状

ARによるヘルプ・ナビゲーションを利用し、実用化しているシステムを紹介し、その現状を解説する。

2.2.1 GoogleMapのARナビ機能

Google²は2018年のGoogleI/O 2018で自社の開発する地図アプリケーションGoogleMap³にAR機能が追加されることを発表し、翌2019年5月にARナビゲーション機能としてα版をリリースした。この機能ではGPSによる位置情報や方位情報、カメラからの画像情報などをもとに図2.1のようなAR表示での道案内を表示する事が可能である。本アプリケーションはカメラで取得した周囲の景色による補正からかなり高精度なAR表示を提供するが提供するが、用途はあくまでもあくまでも目的地までの経路案内に限られている。またGPSの届かない場所やGoogleStreetViewなどに景色の登録がない施設では利用ができないと言うデメリットが存在している。

2.2.2 遺跡・史跡のARナビゲーションアプリ

また日本国内の史跡ではマーカーベースのAR案内アプリケーションが複数存在しているしている。殆どのものが史跡の近くにマーカーを設置し、そこから解説や当時の様子を再現したCGを描くというものである。今回は一例として松山城址でのナビゲーションアプリである攻略松山城⁴を紹介する。このアプリは松山城の歴史や仕組みを解説するARナビゲーションアプリである。図2.2のような専用のマーカーをアプリで読み込むことで図2.3のように解説したい場所にARで動画のサムネイルを表示する。このようなアプリの場合表示したい場所ごとに図2.2の

¹<https://www.wikitude.com/>

²<https://google.com>

³<https://www.google.com/maps>

⁴<https://www.cadcenter.co.jp/works/archives/98>



図 2.1: GoogleMap での AR 表示

のような大きなマーカーを設置しなければならないと言う問題点がある。また実際の運用を考えると専用のマーカーとアプリを利用しているため、多くのマーカー付近でアプリをダウンロードするための案内が別途必要になり汎用性があるとは言い難い。

2.3 AR によるヘルプ・ナビゲーションの問題点

前節で述べた現状を元に既存の AR によるヘルプ・ナビゲーションシステムの問題点を整理する。AR のナビゲーションシステムには以下のような問題点がある。

- 立ち上げるまでのインタラクションが面倒

前節の「遺跡・史跡の AR ナビゲーションアプリ」のようにマーカーベースの AR ナビゲーションでは設置された「マーカーを元にアプリを選択」、「起動」、「カメラでマーカーを中心収める」という 3 ステップが必要になる。GPS と方位情報から位置測位を行うアプリ



図 2.2: 専用のマーカー



図 2.3: AR での案内

ケーションの場合はこのような手順は必要ないが、後述するように精度や用途が限られるという問題がある。

- 位置測位の方法によって精度や用途が大きく限られる

AR でのナビゲーションを行う際に多く用いられる位置測位の方法は、1) マーカーを使うものと 2) GPS による座標検知と方位情報をあわせて利用するものの 2 通りに大別される。1) の場合その場での精度は高いが、ある程度の距離からカメラで十分認識できるサイズのマーカーを設置する必要がある。2) の場合特別な設備は必要ないが精度での疑問が残ることに加え GPS 電波の届かない屋内での利用が限定される。前節で挙げた GoogleMap の AR 機能では GPS や方位情報に加え Google が撮影した道路の画像を元に補正を行い、精度を挙げているが撮影されていない屋内での利用ができないという問題点は残る。

- 情報の登録・編集が面倒

AR で単に目的の位置を表示したり、決め打ったデータを表示する AR ナビゲーションアプリは多いが、情報の登録や編集の簡易さに焦点を置いた物は少ない。AR での表示したい情報は常に変化する可能性があり、増加していくことが予想される中で一般ユーザーが気軽に情報を登録編集できる環境を整えることは急務と言える。

- 関連情報を参照・管理することができていない

AR での表示する情報が増えるに従ってそれらを互いに参照したり、ドメインごとに管理するニーズは高まっていくと考える。しかしながら既存のアプリケーションでは AR で表示し

た情報同士を互いに参照して関連情報を表示したり、特定の分野でフィルターすることが難しい。

- 汎用性のあるアプリケーションがない上記のように「情報の登録・編集が面倒」、「関連情報を参照・管理することができていない」という問題点から特定の目的や分野に限った AR ナビゲーションアプリは存在するものの、分野や目的を横断した汎用的 AR ナビゲーションは開発されていない。その結果目的や施設ごとにアプリケーションをユーザーが切り替える必要があり、AR ナビゲーションアプリが増えるほどユーザの負担は大きくなる。さらに目的や施設ごとにアプリケーションと情報が独立してしまうことで分野を横断したつながりを表現できないという問題点も生まれる。

2.4 テキストや画像の進化

前節で述べたとおり AR によるヘルプ・ナビゲーションには課題が多いが、ナビゲーションに利用しているテキストや画像などのメディアは計算機の進化とともに多くの問題点を克服している。

計算機上で利用されているテキストは、文字から内容を検索することが可能なため 文書の参照や管理が格段に行いややすくなり、あらゆる文書の作成が電子化されたテキストに置き換えられるようになった。また Web やハイパーリンク等の技術によってより参照しやすくなったほか、別の文書を引用する等の再利用が可能になった。さらにハイパーリンクを含んだ文書を手軽に作成・編集できる Wiki[4] が登場したことにより柔軟・活発なテキストによる知見の共有や情報の再利用が実現された。

同様に画像や地図などのメディアも電子化と web の進歩により参照や管理が格段に行いややすくなったり。SNS や画像の管理が行えるクラウドウェアの普及により誰しもが写真を撮影し容易に web 上にアップロード/公開することが可能になり、公開された画像は URL によって一意に参照することができるところから画像の再利用性は大きく高まった。また GoogleMap のように、地理情報システム (GIS : Geographic Information System) が web 上で誰でも検索・参照可能な形で公開されることで位置情報や地理情報を参照することが容易になった。

このような文書以外のメディアの進化に合わせ、近年の文書作成システムや Wiki システムでなどは画像/音声/動画/地図といったマルチメディアを自在に埋め込むことができるようになっていている。

2.5 NFC 技術とインタラクション

AR でのナビゲーションシステムには自身の位置情報やその場のコンテキスト情報などが不可欠であり、一般的にそのような情報を瞬時に取得することは難しい。一方 NFC タグには以下のようないくつかの特徴から実世界においてその場のコンテキスト情報や設置されたものの情報を記述するのに便利である。

- 電源がいらない

- 非常に薄く、小型
- ID や URL などを記録するには十分な記憶容量を持つ
- 一枚あたり 10 円前後と安価

近年では多くのモバイル端末に NFC タグの読み取り機能が搭載されており、一般的な NFC タグであれば誰でも書き込まれた情報を瞬時に読み取ることができる。さらに書き込むデータ形式によっては、モバイル端末で NFC タグの読み取るだけで web ページを開いたり、アプリを起動することが可能である。

このような NFC タグの特徴は、既存の用途である決済や在庫管理、家電操作などに加えナビゲーションシステムを補助するシステムとして有効であると考える。

また一般的な NFC タグは読み取る際に、読み取る機器を NFC タグにかなり近づける必要がある。この技術的制約は一般的にデメリットとして捉えられがちであるが、一方で NFC タグを読み取ったタイミングでのユーザーの持つ端末の位置は NFC タグとほぼ接していると確定できることになる。つまり NFC タグに位置情報をもたせれば非常に少ない誤差でユーザの持つ端末をの位置を確定できることになる。この特徴は第 2.3 節で述べた問題点の一つである NFC の位置測位の問題を解決するものである。

2.6 まとめ

AR をナビゲーションとして利用するアイデアは以前から存在し、実用段階に来ているプロダクトも増えてきている。ただし第 2.3 節に上げた問題点を解決できていないため、汎用的なヘルプ・ナビゲーションとして利用されるに至っていない。一方でナビゲーションに利用しているテキストや画像などのメディアは計算機上で積極的に応用されており、ハイパーリンクや Wiki 等の技術によって参照や再利用がより行いやすくなった。また近年多くのモバイル端末に搭載されている NFC 技術には第 2.3 節であげた問題点の一部を克服する可能性がある。したがって AR の正確な位置測位とコンテキスト情報の取得に NFC の技術を利用しつつ、AR で表示する情報の管理に Wiki の手法を取り入れることで第 2.3 節に挙げた問題を解決できると考える。次章では上記のような AR ナビゲーションシステムが持つ問題点を解決し、次世代の AR ナビゲーションシステム「HypAR Touch」を提案する。

第3章 設計

本章では次世代の AR ナビゲーションシステム「HypAR Touch」の要件と設計について述べる

3.1 要件

前章で整理した AR ナビゲーションシステムの問題点を踏まえた上で HypAR Touch システムの要件を整理する。

- 手軽になインタラクションでアプリケーションの起動と位置キャリブレーションができる
- 個別にコンテキストを簡単に指定できるようにし、汎用性をもたせる
- AR での表示情報を容易に登録・編集できる
- ハイパーリンクを利用し関連情報を参照・管理することができる

これらの要件を満たす AR ナビゲーションシステムは、NFC をタッチするインタラクションとハイパーテキストの編集環境である Wiki を組み合わせによって実現できる。

3.2 HypAR Touch

本研究で提案する AR ナビゲーションシステムである HypAR Touch の基本構成と使い方を解説する。

3.2.1 基本構成

本研究で提案する AR ナビゲーションシステム HypAR Touch はモバイル端末向けアプリケーションである HypAR Touch アプリと専用の NFC タグ、Wiki である Scrapbox で構成されている。

HypAR Touch アプリ HypAR Touch アプリは AR でのナビゲーションを表示するモバイル端末向けネイティブアプリケーションである。後述する専用の NFC タグにタッチすることで AR ナビゲーションを表示することができる。NFC 読み取り機能を持つ Android¹端末と iOS²端末に対応しており、現在流通する多くのモバイル端末で利用可能である。

NFC タグ 本システムではモバイル端末の位置情報検出及び提示するナビゲーションの出し分けのために NFC タグを利用している。NFC タグには ISO/IEC 14443 の TypeA³に該当する NFC タグを利用しておおり、NDEF⁴形式で情報を記録している。このタグタイプと情報形式は NFC 機能を持つほとんどのモバイル端末で読み取りがサポートされており、アプリを起動していない状態でのバックグラウンド読み取りに対応している。さらにタグ内に記録する情報として CustomURLScheme を利用することでアプリが起動していない状態でもモバイル端末で NFC にタッチすることで HypAR Touch アプリを起動することが可能となる。

¹ TODO:todo

² TODO:todo

³ TODO:todo

⁴ TODO:todo

Scrapbox Scrapbox(図 3.1) は Gyazz[7] をベースにして開発された、Nota⁵社が運営している Wiki である。本システムでは Scrapbox を AR で表示する情報の登録・編集ツールとして利用している。これは Scrapbox が他のシステムには存在しない以下の特徴を持つためである。

- シンプルで柔軟な記法をもつ WYSIWYG エディタ
入力/改行/段落/箇条書きといった基本的なテキスト編集を見たまま行える。
 - 場所指定に最適な Location 記法
GoogleMap の URL を貼り付けるだけで地図を埋め込める Location 記法⁶と呼ばれる機能があり地理情報を記述するのに適している。本システムでは Location 記法で AR 情報を表示する場所を指定している。
 - シンプルなリンク記法によるハイパーリンクと関連ペーリスト
Scrapbox では単語を [] で囲うだけで同一 wiki 内ページへのリンクとすることが可能である。さらに Scrapbox ページの下部には
 - 別ページへのリンク
 - 別ページからのリンク
 - リンク先ページがリンクしているページ
- といった関連ペーリスト (図 3.2) が表示され、どのような情報と関連するのか一目瞭然に分かる。

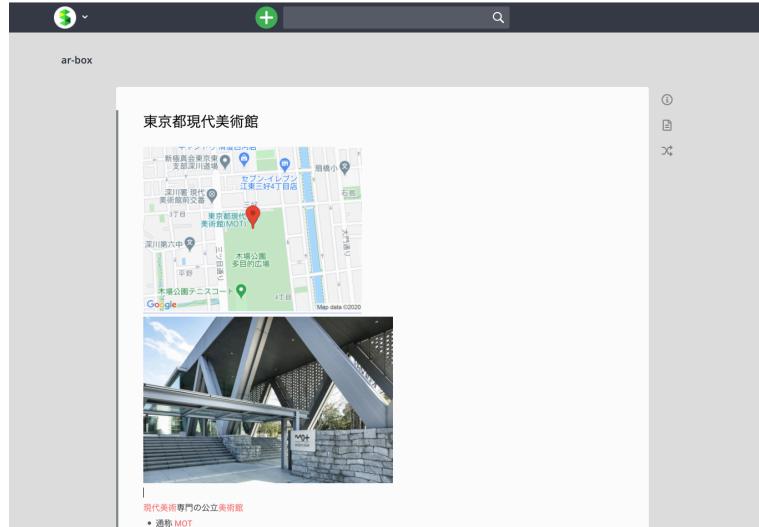


図 3.1: Scrapbox の画面

⁵<https://www.notainc.com/ja>

⁶https://scrapbox.io/help-jp/Location_記法

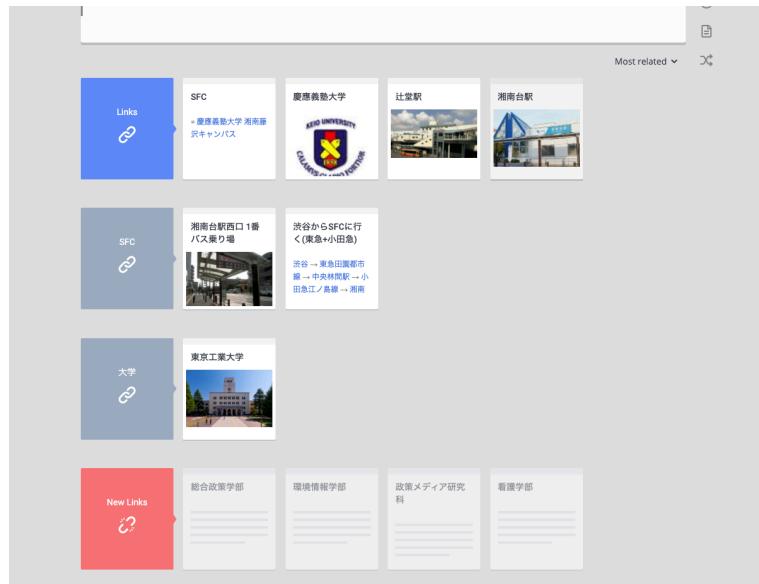


図 3.2: Scrapbox の関連ページリスト

3.2.2 使い方

(1) HypAR Touch アプリによるナビゲーション閲覧

NFC タグにタッチする 本アプリケーションは図 3.3 のように専用の情報が書かれた NFC タグにタッチすることで起動し、ナビゲーションを開始する。NFC にタッチすることで位置と向きを認識し、図 3.4 のように登録された情報を AR で正しい位置に表示することができる。また画面下部にあるスライダー（図 3.5）を右に動かすことでより遠くにある情報が AR で見れるようになる。

表示された AR 情報の関連情報を表示・選択する 画面の中央には三角のカーソルが表示されており、これを AR 表示された情報の上に重ねると青く縁取られる様になっている。（図 3.6）その状態で画面下部の選択ボタンを押すと図 3.7 のように関連する情報が放射状に表示される。これらの放射状に表示された情報も同じようにカーソルで選択することができる。（図 3.8）このように関連情報を選択していくことによって興味のある情報を AR 上で探索することができる。

選択された AR 情報の詳細を見る 上記のようにカーソルを AR 情報にあわせた上で選択ボタンを押すと上部には図 3.9 のように選択された情報のタイトルの他に「see more」と書かれたボタンが出現する。これをクリックすることで AR 情報の元となった Scrapbox をみることが可能である。（図 3.10）

選択された AR 情報の場所に視点を移動する 同じようにカーソルを AR 情報にあわせた上で選択ボタンを押し、もう一度選択した AR 情報にカーソルを持っていくと下部中央のボタンが「移動」に変化する（図 3.11）この移動ボタンを押すと図 3.12map での移動アニメーションを経て選択された AR 情報がある場所からのビュー（図 3.13）に切り替えることができる。



図 3.3: NFC タグにタッチする様子

AR 情報の選択を解除する・前の状態に戻る 上記のような選択状態は AR 情報のない画面をタップすることで解除できる。また選択や移動した履歴情報を常に保存しており、画面下部の「戻る」「進む」ボタン(図 3.14)で戻ったり進んだりすることができる。

(2) Scrapbox による AR 情報法の追加・編集

HypAR Touch アプリに表示される AR 情報は NFC タグ指定された Scrapbox のプロジェクトとともに生成されている。Scrapbox のプロジェクトにあるページのうち、Location 記法によって地理情報の記述があるページがアプリ側で表示される AR 情報と対応する。

AR で表示する情報を追加する AR 情報は Scrapbox のページと対応しているため、新しくページを作成し、以下の 2 点の情報を記入することで AR 情報が登録される。

- ページタイトル

図 3.15 の①部分であり、ページを作る上で必須となる。タイトルは AR 表示でサムネイルの上に表示されるものと対応する。

- Location 記法による記述

Scrapbox にはソースコード 3.1 のような GoogleMap の URL をソースコード 3.2 のような Location 記法に変換し、図 3.15 の②のようにマップとして表示する機能がある。この機能を利用し利用し AR の情報を追加したい場所を中心とした GoogleMap の URL を Scrapbox に貼り付けることで AR の情報登録できる。



図 3.4: AR での表示

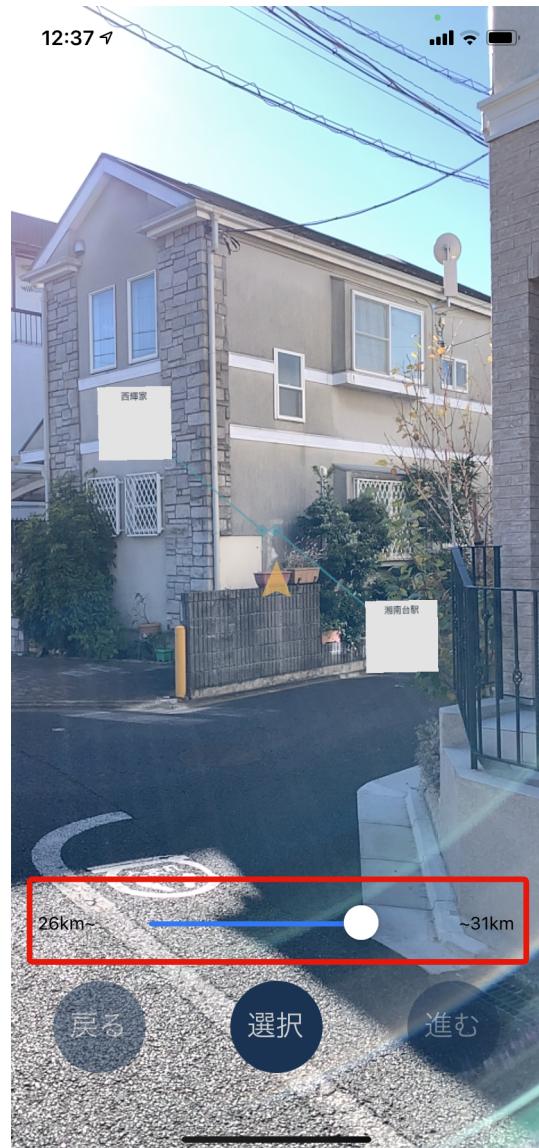


図 3.5: スライダーによる距離指定

ソースコード 3.1: googleMap の URL

```
1 https://www.google.com/maps/place/%E6%9D%B1%E4%BA%AC%E9%A7%85/@35
.681502,139.7671784,17z/data=!4m5!3m4!1s0x60188bfd89f700b:0
x277c49ba34ed38!8m2!3d35.6812362!4d139.7671248
```

ソースコード 3.2: Location 記法

```
1 [N35.681502,E139.7671784,Z16 東京駅]
```

サムネイルを追加する Scrapbox では画像の URL を [] で囲う、または画像をドラッグ・アンド・ドロップすることで図 3.16 のようにページに画像を表示させることができる。このように Scrapbox のページに画像を貼ると、一番上にある画像が AR 表示でのサムネイルになる。(図 3.17)



図 3.6: カーソルを重ねた状態



図 3.7: 選択した状態

ハイパーリンクを利用して説明を書く Scrapbox では単語を [] で囲うことで同一 wiki 内ページへのハイパーリンクを含んだ文章を記述することが可能である。他ページへのハイパーリンクが生成されると AR 表示で関連情報として表示されるようになる。(図 3.18) 説明に利用した単語を積極的にリンクすることによって関連する情報を提示することができる。

(3) NFC タグに対する情報の書き込み

NFC タグには ISO/IEC 14443 TypeA に準拠した NTAG を利用する。NFC に記録する NFC で情報を記録する際に一般的な NDEF フォーマットで情報を書き込む。書き込む情報は図 3.19 のように CustomURLScheme に沿った URI の形式で書き込む。

その上で HypAR Touch のサーバーにタグに書き込んだ ID と紐付ける形で以下の情報を登録



図 3.8: 関連情報の選択

する。

- 緯度経度
- タグの設置される向き (0~360 度)
- 表示する AR 情報の元となる Scrapbox のプロジェクト
- タッチした時に選択されているリンク情報

これらの情報は HypAR Touch アプリ内の登録画面 (図 3.20) または HypAR Touch サーバーが提供する登録画面 (図 3.21) より登録可能である。



図 3.9: 詳細を表示するボタン

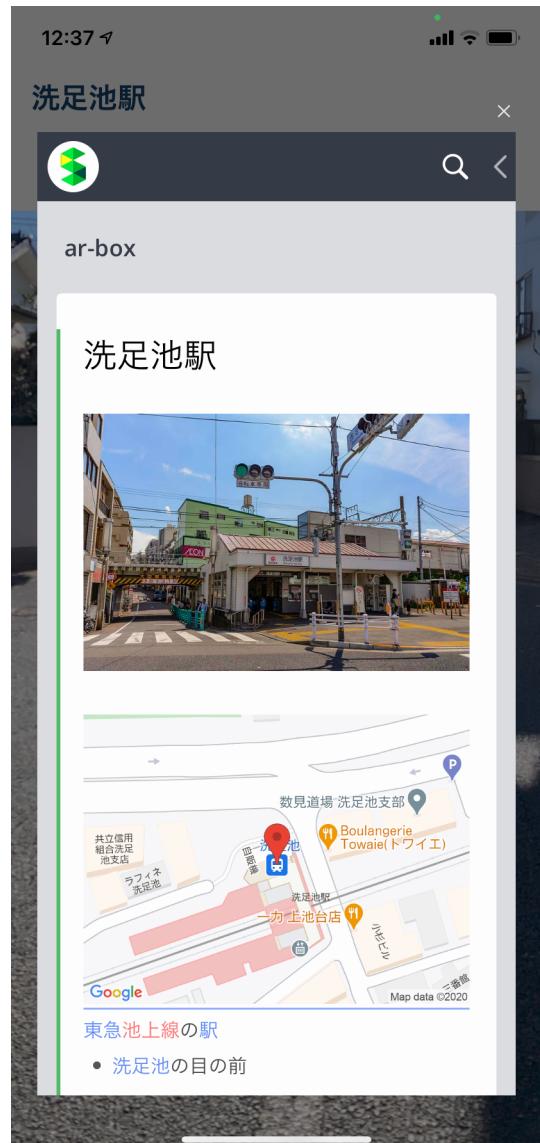


図 3.10: Scrapbox での情報表示



図 3.11: 移動ボタン



図 3.12: Map での移動アニメーション



図 3.13: 移動先での表示



図 3.14: 進むボタンと戻るボタン

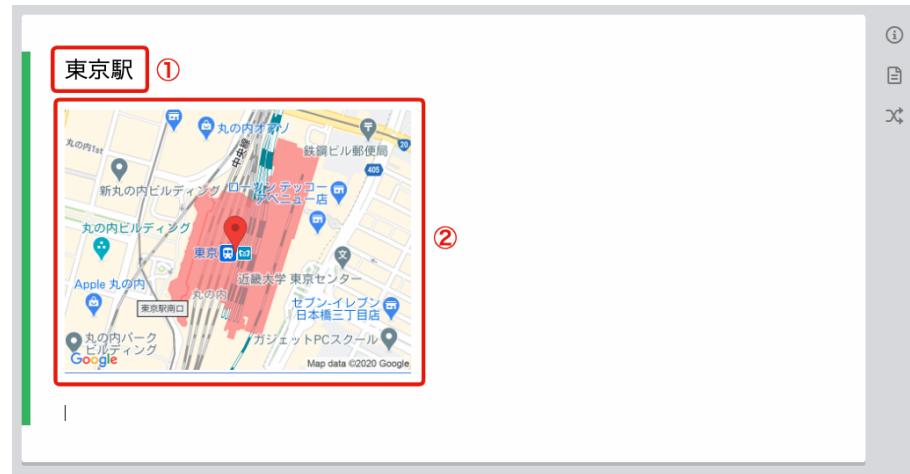


図 3.15: 新しくページを作成した時



図 3.16: Scrapbox に貼り付けた画像



図 3.17: Scrapbox 上の画像と AR での表示



図 3.18: Scrapbox 上のリンクと AR での表示

hypartouch://?id=7290032e-7e1d-4ac6-a7e0

アプリのスキーム
一意なID

図 3.19: NFC に書き込む URI データ

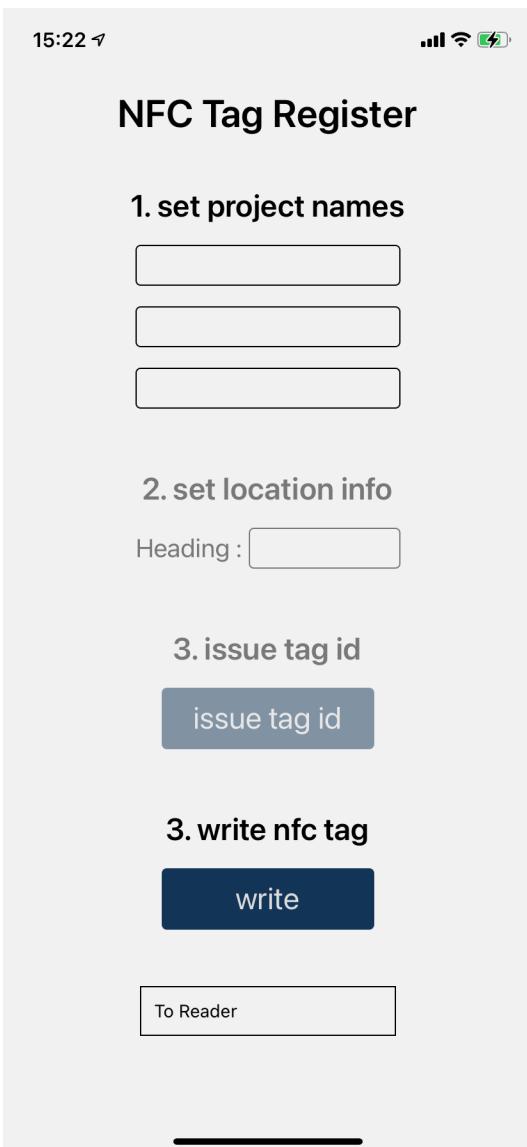


図 3.20: モバイルアプリでの登録

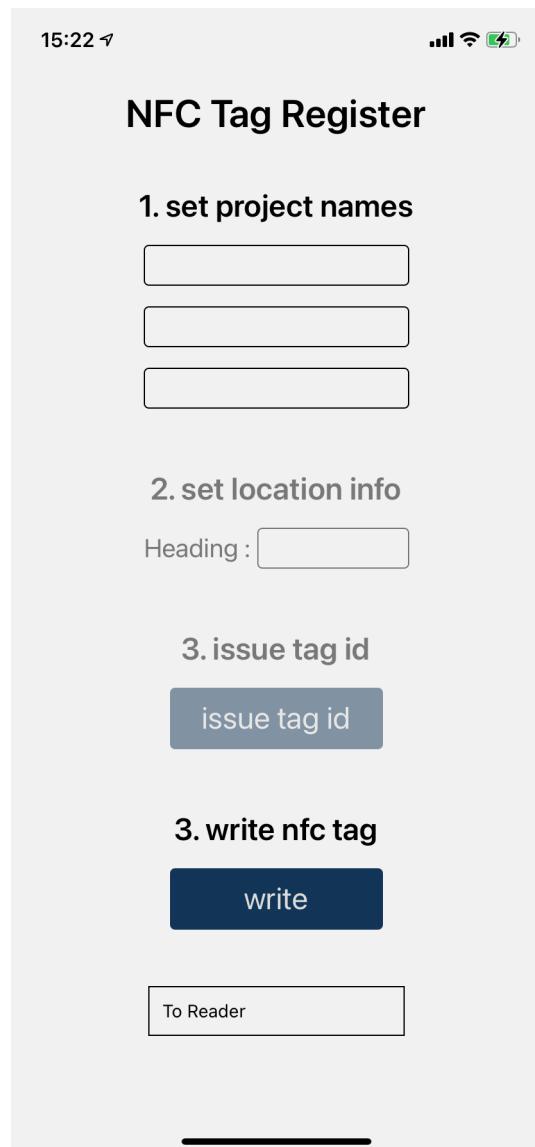


図 3.21: web アプリでの登録

第4章 実装

本章では第3章で述べたシステムの設計を受け、HypAR Touch の実装について述べる。

4.1 アプリケーション構成

HypAR Touch は AR ナビゲーションを表示するモバイルアプリケーション、AR 情報や NFC 情報を永続化し API を提供するサーバー、Scrapbox、Gyazo¹,NFC タグで構成される。(図 4.1)

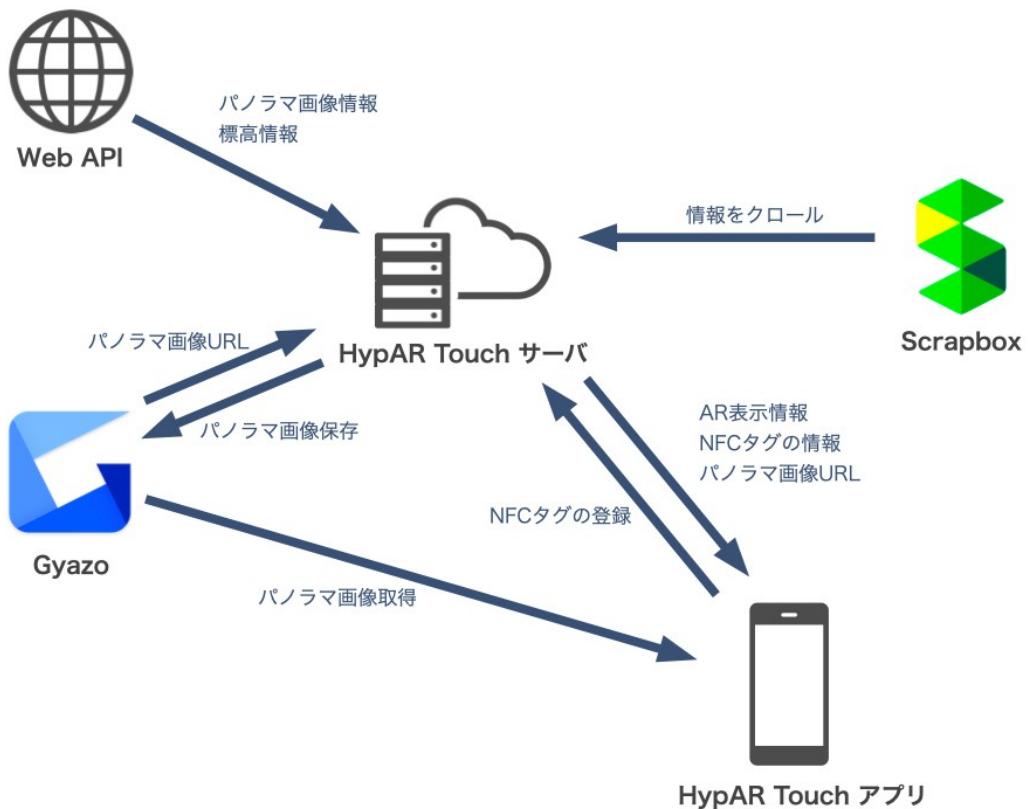


図 4.1: 構成図

4.1.1 HypAR Touch アプリ

HypAR Touch アプリは ReactNative²と呼ばれるフレームワークを利用して作成されたモバイル端末アプリケーションである。ReactNative を利用することで Android と iOS の両方に対応したマルチプラットフォームアプリケーションとなっている。HypAr Touch アプリは NFC に記録された一意な id を取得し、その id に紐付いた以下の情報を情報後述する HypAr Touch サーバーから取得する。

- NFC タグの緯度経度
- NFC タグの設置される向き (0~360 度)

¹TODO:todo

²TODO:todo

- 表示する AR 情報の元となる Scrapbox のプロジェクト名
- タッチした時に選択されているリンク情報

さらに取得した Scrapbox のプロジェクトの情報をもとに HypAr Touch サーバーから AR で表示する情報を取得し取得する。最後に取得した AR の情報と NFC タグの緯度経度、NFC タグの設置された向きをもとに、各 AR 情報を表示する相対位置を算出している。また各 AR 情報にはその AR 情報付近で撮影されたパノラマ画像の URL が含まれており、移動機能ではこの URL を元に 360 度画像によるビューを作成している。

4.1.2 HypAR Touch サーバ

HypAR Touch サーバは Node.js³上で動作する Web アプリケーションとして実装されている。HTTP リクエストを処理する Web アプリケーションフレームワークとして Express⁴を用い、そのホスティング環境として BaaS(Backend-as-a-Service) の一つである Heroku⁵を利用している。HypAR Touch サーバは HypAR Touch アプリで利用する AR 情報や NFC タグ情報を管理する役割をもっており、その機能は大きく 4 つに分けられる。

- 対象となる Scrapbox のプロジェクトをクロールし、AR 表示に必要な情報を整理した上で永続化する。

HypAR Touch サーバは定期的に指定された Scrapbox のプロジェクトをクロールし、位置情報やサムネイル画像の URL、リンク情報などの AR 表示に必要な情報をデータベースに永続化している。この事によりユーザが Scrapbox に加えた変更を AR での表示に対応させることができる。

- 登録された NFC タグに関する情報を永続化する。

NFC タグには一意な id があり、それに紐づく形でタグの位置情報や向き、対象とする Scrapbox プロジェクトなどの情報がこのサーバーに記録される。

- クロールした情報を元にパノラマ画像を生成し、Gyazo に保存した上でその URL を記録する。

第 3 章で記述した移動機能を実装するため、AR で表示する情報には記録された位置情報に最も近いところから撮影されたパノラマ画像が必要である。そのため HypAR Touch サーバでは AR で表示する情報全てに対して GoogleStreetView⁶の API を利用することでパノラマ画像を生成している。また、画像の保存・永続化には後述する Gyazo を利用しており、最終的には Gyazo に保存されたパノラマ画像の URL を AR で表示する情報と合わせてデータベースに永続化している。

³<https://nodejs.org/>

⁴<https://expressjs.com/>

⁵<https://www.heroku.com/>

⁶TODO:todo

- 上記 3 つの情報を取得・追加・変更する API を提供する。

HypAR Touch サーバは上記 3 つの情報を永続化するだけでなく、HypAR Touch アプリからの AR 情報取得や NFC タグの登録を受け付ける必要がある。そのため HypAR Touch サーバはこれらの情報を取得、追加、更新する API を提供している。

4.1.3 Scrapbox

Scrapbox は第 3 章で記述したとおり、AR 表示するための情報を登録・編集するためのプラットフォームとして利用している。Scrapbox にはプロジェクト内のページリストと各ページの情報を取得する API⁷を持っており、これを利用することで HypAR Touch サーバのクロールが可能くなっている。

4.1.4 Gyazo

Gyazo は、パソコンのデスクトップ画面の一部をキャプチャして Web にアップロードするツールおよびその画像を保存する画像と映像専用のクラウドストレージサービスである。Gyazo には画像のアップロード・取得等の API が揃っており本システムでのパノラマ画像の保存先として適している。

4.1.5 NFC タグ

本システムで利用する NFC タグはモバイル端末の OS に関わらず、読み込めるタグ形式とデータフォーマットでなくてはならない。そのため本システムでは NFC タグとして最も普及している ISO/IEC 14443 TypeA に準拠した NFC タグを利用している。また同様に NFC forum⁸が策定したデータフォーマットである NDEF(NFC Data Exchange Format) を利用することで NFC 機能を持つ殆どのモバイル端末に対応している。NDEF のデータ形式には更に細かく、Text、URI、SmartPoster m の 3 つのタイプが存在し、URI タイプで書かれたものは殆どの NFC 対応スマートフォンでバックグラウンド読み取りに対応している。また Android と iOS にはディープリンクと呼ばれる特殊な URI からインストールされたアプリケーションを起動する機能が存在しており、その URI の形式を Custom URL Scheme と呼ぶ。Custom URL Scheme では図 4.2 のように起動するアプリの指定だけでなく、URI パラメータを利用して追加の情報を指定することが可能である。このような特徴を踏まえ、本システムでは NFC タグに Custom URL Scheme の形にした URI を NDEF の URI タイプとして記録している。これにより、モバイル端末側で NFC タグにタッチするだけでアプリの起動及び tagID の受け渡しが可能となる。

⁷<https://scrapbox.io/help-jp/API>

⁸<https://nfc-forum.org/>

hypertouch://?id=7290032e-7e1d-4ac6-a7e0

図 4.2: Custom URL Scheme

4.2 NFCによるキャリブレーション

NFC タグによって行われる位置推定の仕組みについて解説する。

第5章 應用例

本章では、HypAR Touch によって実現可能な応用例について述べる。

5.1 駅など公共施設での案内

駅や空港などの比較的大規模な公共施設内では GPS による案内が利用できないことが多い、地図を提示するか矢印などによる案内表示が一般的である。地図は設置できる場所に限りがあるだけでなく、位置関係が複雑な場合は地図を見ただけでその構造を理解することは難しく、目的地にたどり着くのが難しいという問題点を持つ。また案内表示の場合、記述できる情報に限りがあり、必ずしも自分の目的地に沿う案内があるとは限らないという問題点がある。

一方本システムでは AR で目的地を直接提示(図:5.1)するため地図の苦手な人への案内や複雑な構造の施設の案内において有用である。また壁など設置された小さな NFC タグに触れるだけでその場所からの案内を開始できるため設置場所にこまることがない。さらに NFC タグは一枚あたり十数円と安価であるため設置数とコストに困ることは少ないと言える。また NFC タグに紐付いた情報により表示する AR 情報のある Scrapbox プロジェクトとやハイパーリンクによるフィルターを指定できるので用途に特化した案内(図:5.2)をすることも可能である。

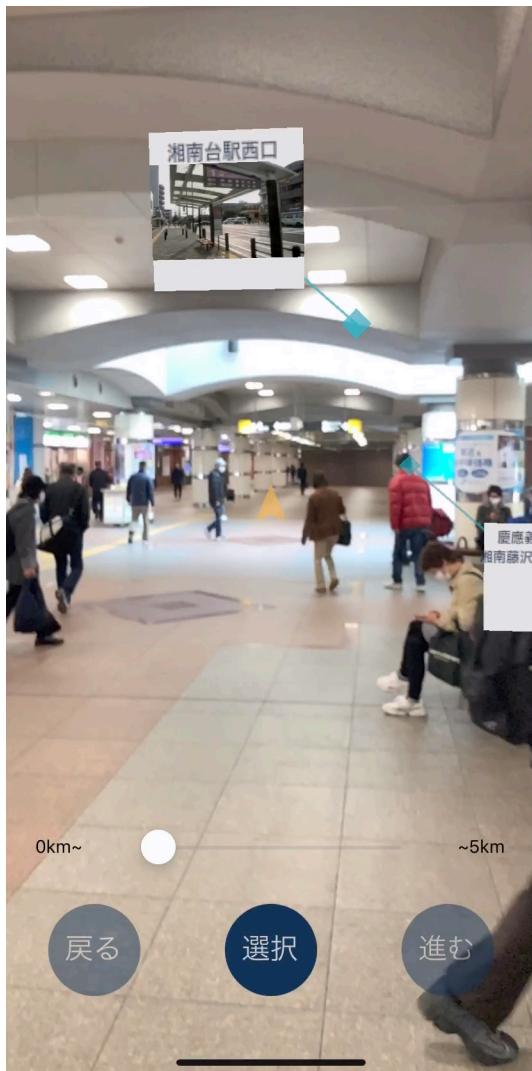


図 5.2: 出口だけの案内

図 5.1: 案内の様子

5.2 近隣施設の探索・推薦

本システムの大きな特徴として wiki を利用することにより情報を階層化せずに関連情報を探索できる点が挙げられる。自分の興味のある近隣施設をリンクによって探索することが可能になっている。

例えば神保町で本システムを利用した場合、ウィンタースポーツ用品店を選択すれば、「スノーボード」「スキー」といったといったリンクが出現する(図 5.3)。ウィンタースポーツ用品店を周りたい場合はこれらのリンクを選択することでウィンタースポーツに関する施設の情報を見ることができる。

またその後食事を取りたくなった場合は同じタグにタッチし飲食店をクリックすることで「ラーメン」「カレー」等のリンクが出現し自身の食べたいものを絞り込みながら探索できる(図 5.4)。このように様々な施設の情報が混在していてもリンクをクリックしていくことで自分の求める情報を探索できるため、非常に拡張性の高いシステムになりうる。

5.3 学習教材としての利用

wiki は wikipedia に代表されるように膨大な史実や地理情報を整理し、記録するのに適したメディアであると言える。本システムでは wiki の各ページに位置情報を貼り付けるだけで AR での表示を実現できるためこのような地理情報を含む歴史や地理の教材として利用することが可能である。

例として京都などの史跡が多い地域でフィールドワークを行う際に利用することなどが考えられる。学習者は各地にあるタグに触れるだけで周辺にある史跡の情報見ることができるだけでなく、選択した史跡の関連情報から他の史跡の情報や位置を AR で見ることができる。こうすることで自身の興味や学習対象に関連する史跡を効率よく回り、自身の知らない史跡を知る切っ掛けにもなると考える。

さらに本システムでは第 3 章で述べた通り現在地からの AR 表示だけでなく選択された AR 情報の場所に視点を移動する事が可能である。この機能によって実際の場所にいなくとも関連情報を元に視点を切り替えながら史跡を見ることが可能である。

5.4 リンクを利用した柔軟な記法

本システムでは位置情報を記載した Scrapbox ページを作成することで AR 情報を登録することができるが、それに加えて、登録された AR 情報のリンクを利用したページを作ることも可能である。例えば渋谷から SFC のキャンパスまでの経路を記述したい場合は図 5.5 のように登録した場所などの情報のリンクを利用して記載することができる。このようにリンクを並べて配置するだけで図(準備中)のように通るべきポイントが AR で表示される。この書き方はユーザーによって簡単に行えるだけでなく、並べるリンクが合っていれば表記の揺れにも強いという利点を持っている。



図 5.3: スキー用品店を選択した時



図 5.4: 飲食店を選択した時

5.5 まとめ

本章では、本システムによって実現可能な、NFC タグによるインタラクションとリンクによる関連情報の表示等の機能を活かした利用例について述べた。タッチというわかりやすいインタラクション、Wiki の持つ拡張性などから、本章で述べた利用例に限らず様々な応用が可能であると考えられる。



図 5.5: リンクを利用したルートの表記例

第6章 関連研究

本章では関連研究を紹介し、それらの特徴や本研究との関連性について示す。

6.1 主要な研究領域

本研究では NFC のタッチインタラクション及び wiki ベースな AR ナビゲーションが有用であることを検討した。本研究に関連する先行研究は大きく以下のように分類できる

- AR をナビゲーションに利用する研究
- AR 情報の整理・関連情報推薦にハイパーリンクを利用する研究
- NFC をナビゲーションに利用した研究

それぞれについて関連性の高いものを紹介した上で本研究との関連性を示す。

6.2 AR をナビゲーションに利用する研究

AR を地理情報のナビゲーションとして利用する代表的な研究及びシステムを紹介する。

6.2.1 A Touring Machine

Feiner らが開発した A Touring Machine[1](図 6.1) はヘッドマウント・ディスプレイとスタライスで操作可能な 2D ディスプレイで大学のキャンパスの情報を表示するアプリケーションである。AR を利用した地理情報ナビゲーションの初期研究として挙げられる。GPS による位置情報と磁気センサによる向きの情報からユーザーの位置と向きを推定し、ヘッドマウント・ディスプレイに大学の情報が表示される。また手持ちのスタライスで操作可能な 2D ディスプレイが専用の HTTP サーバにつながっており、表示したい情報のリンクに触れるなどの操作することでヘッドマウント・ディスプレイでの表示情報が変化するようになっている。一方で GPS と磁気センサによる位置推定には精度の面で課題があり、当時の技術ではヘッドマウント・ディスプレイとコンピュータを小型化することが難しかったため常用するには難しいものであった。

6.2.2 Feature-Based Indoor Navigation Using Augmented Reality

Kasprzak らは Feature-Based Indoor Navigation Using Augmented Reality[3] で室内での利用を想定したモバイル端末の AR ナビゲーションのプロトタイプを作成し評価している。このプロトタイプは画像として登録された特徴的なアイコンなどを元に画像認識から位置情報と向きを推定し、ユーザーの目的地を矢印で表示するものである。またこのプロトタイプを利用し、実際に建物内での案内に利用するテストを行っている。その結果 2D の地図と比べて目的地までの到達時間が短縮され、被験者が立ち止まつたり間違えた方向に進む回数も減少したと報告している。室内での利用を視野に入れている点は GPS などを利用するシステムと違い、本研究に近いが登録した画像による位置推定には以下のようないくつかの課題もある。

- 特徴的なロゴやアイコンの無いところでは登録できる画像がなく精度が保証できない
- 各場所で個別に画像の登録が必要

準備中

図 6.1: A Touring Machine

- 距離や明るさなどによっては認識できない可能性がある

またこのプロトタイプシステムでは事前に選択した目的地に正確に早く到着することに主眼を置いており、本システムのようにハイパーリンクによる関連情報から周辺讓歩を探索する用途を考えていない点も本研究との違いである。

6.2.3 Wikitude

Wikitude(図 6.2) は、Wikitude GmbH¹が開発したモバイル向け AR ソフトウェアである。モバイル端末の GPS と磁気センサ、加速度計からユーザーの位置と向きを推測し周囲情報をディスプレイに表示する。コンテンツの追加には KML や ARML(Augmented Reality Markup Language)と呼ばれる XML 互換のフォーマットが使われている。KML は GoogleMap などが対応した地理空間情報の情報記述を目的とした XML 互換のファイル形式であり、ARML は KML を更に拡張したファイル形式である。KML ファイルは GoogleMap での読み込みや作成が可能でありユーザーは GoogleMap から AR 情報を作成できる。一方で GPS と磁気センサによる位置推定には精度の面で課題があるだけでなく、GPS の利用できない屋内などでは利用できない欠点がある。ま

¹TODO:todo

た AR での情報登録する際に GoogleMap などの地図アプリケーションから作成するか KML ファイルを自分で編集する必要があり、本システムとは以下のような点で異なっている。

- 共同編集が難しい
- 編集環境が WYSIWYG でない
- AR 情報同士のハイパーリンクを記述するのが難しい

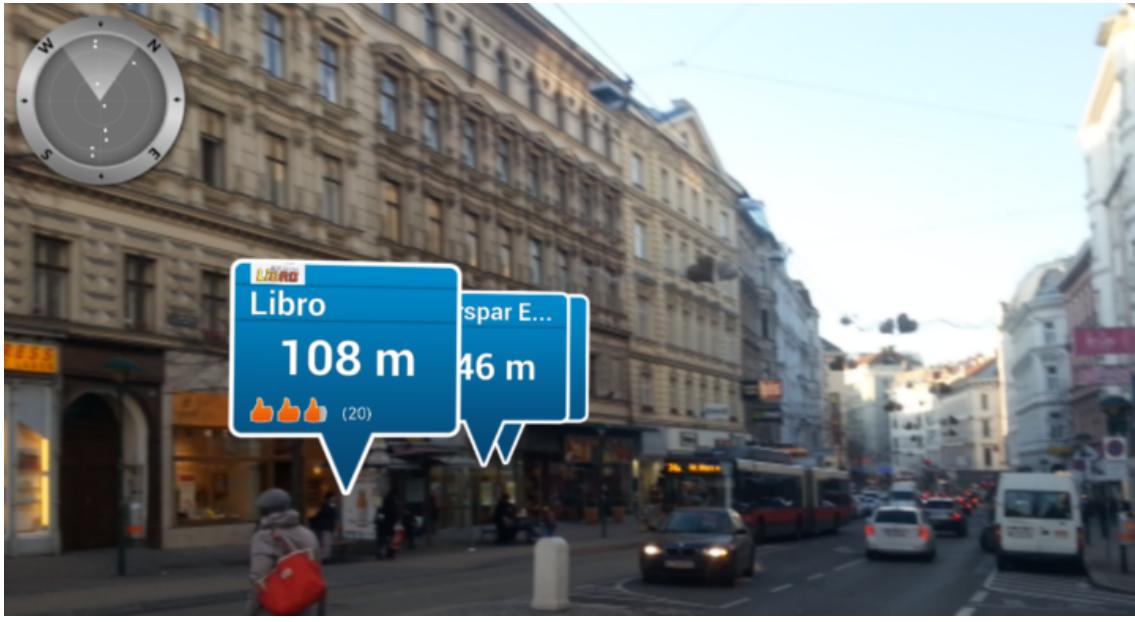


図 6.2: A Touring Machine

6.3 AR・VR 情報の整理・関連情報推薦にハイパーリンクを利用する研究

AR や VR での情報を整理するためにハイパーリンクを利用した研究やプロジェクトを紹介する。

6.3.1 VAnnotatoR

Mehler らが提案した VAnnotatoR[5] は VR/AR でのテキストや画像などのメディアをハイパーリンクを用いて管理し可視化するフレームワークである。図 6.3 のように文書や画像の他に 3D モデルや位置情報同士を関連付け、3D でそのつながりを可視化する。さらにユーザーの入力によって表示を変えたり関連付けられた場所ワープするような探索機能を備える。

VAnnotatoR はホロコーストに関する資料を整理し、可視化することで歴史を解説する Stolperwege プロジェクトが発端となっている。そのため様々な形式の資料と位置情報を互いに関連づけた上でわかりやすく可視化・ナビゲートすることに主眼をおいている。よってハイパーリンクを

を利用して AR で表示する情報を管理し、それらを利用して関連情報を提示するという点で本研究と設計が近いが以下の点で異なっている。

- ハイパーリンク情報の編集環境に関して wiki のような誰でも入力可能なシステムを導入していない
- AR の表示における位置推定は考慮に入れていない
- HypAR Touch では文字情報でのみハイパーリンクを形成する

6.4 NFC をナビゲーションに利用した研究

NFC 技術を自己位置推定やコンテキスト情報取得などに利用し、ナビゲーションに役立てている研究を紹介する。

6.4.1 Development of an Indoor Navigation System Using NFC Technology

Ozdenizci らは Development of an Indoor Navigation System Using NFC Technology[6] で NFC タグを利用した室内ナビゲーションのプロトタイプ「NFC Internal」を作成している。このプロトタイプは NFC タグにタッチすることでユーザーの現在地や向きを把握し、その情報と事前に導入した地図情報から 2D マップでの経路を提示するシステムである。(図 6.4)

本研究同様、施設内の各所に位置情報の書かれた近距離通信の NFC タグを設置し、タグにタッチされるたびにユーザーの場所と向きを更新している。また屋内での位置測位に近距離通信の NFC タグを利用することの利点としてコストが少ない点、正確な位置と向きの情報が得られる点、通信の応答時間が短い点などを挙げており、これらは本研究が主張する NFC タグの採用理由の一部と一致する。一方でユーザーへの情報提示が 2D の地図とテキストベースであることと、何度もタグにタッチすることで目的地へ最短でたどり着くことに主眼をおいている点が本研究大きく異なると言える。



図 6.3: VAnnotatoR での AR 表示

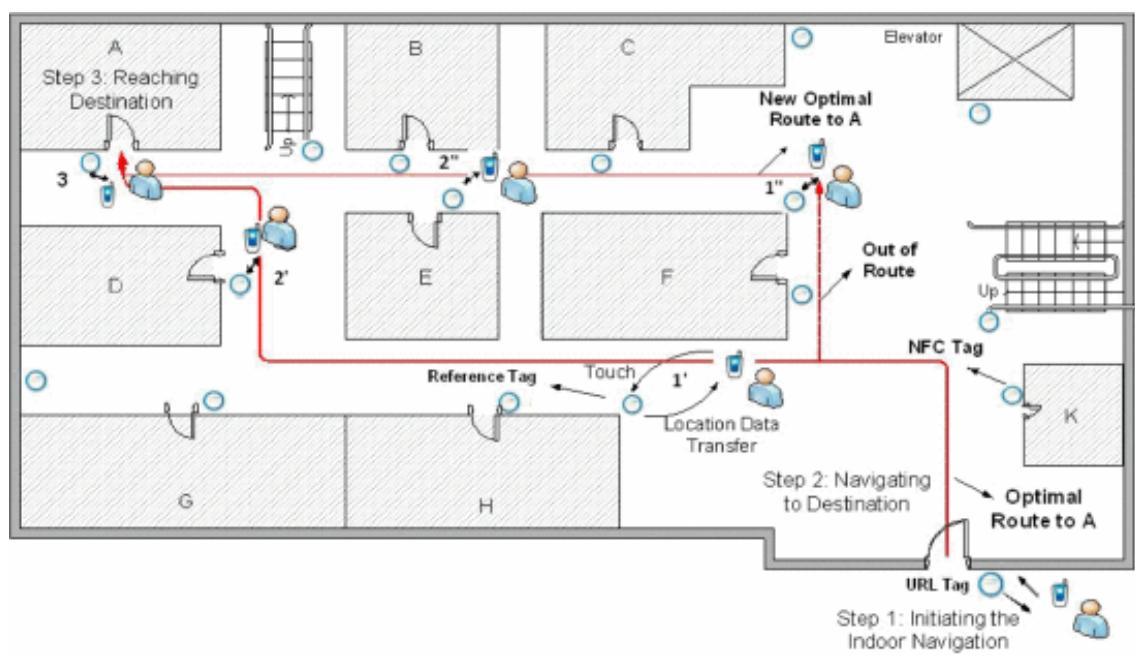


図 6.4: NFC Internal のイメージ

第7章 考察

本章では HypAR Touch の利用者の意見や自身の運用経験をまとめ、諸問題や新しい可能性について述べる。

7.1 評価

本システムのうち、NFC タグによるインタラクション部分のプロトタイプとなる「TouchAR」は 2019 年後半から後半から開発を行っており、ORF2019¹にて DrawWiki の展示発表を行った。またその後も 2020 年 11 月からの 2 ヶ月に渡り使用した様子を共有したり、実際にユーザーに使ってもらうことで意見を集めた。本節ではユーザーからのフィードバックおよび TouchAR の展示発表で得られた感想、筆者の運用経験をまとめる。

7.1.1 意見・感想

第 2.3 節で述べた AR によるナビゲーションの問題点や、その解決策として NFC 技術と wiki により情報を管理する本システムについて多くの同意が得られた他、以下のような感想や意見が寄せられた。

Wiki を採用したことによる編集の容易さ 既存の AR 表示システムでは情報の追加のフォーマットが決まっている事が多く、一般ユーザーが自発的に情報を追加編集することが難しい。一方本システムでは Scrapbox ページを作り、googleMap の URL を貼り付けるだけで AR の情報を追加できるため、AR 情報の追加という感覚なしに気軽に情報を追加できるという意見があった。また既存の Scrapbox のプロジェクトのうち地図情報があるものがそのまま AR で表示できる拡張性も評価された。

NFC タッチによる起動 既存の AR ナビゲーションシステムとして

7.1.2 筆者の運用経験

キャンパスでの利用を想定したフィールドワークを行った。また自身の訪れたことのない場所の探索フィールドワークを複数回行った。

リンクに基づく優れた参照性 Scrapbox にはフォルダやタグ・ラベル等のメモやイラストを分類し管理するための機能は存在しない。全ての AR 情報がフラットに置かれているが、リンク情報に基づいて関連する情報が表示されるため

7.1.3 問題点・要望

以下のような問題点が明らかになった。

¹<https://orf.sfc.keio.ac.jp/2019/>

1. 二次リンクについて

一次的なリンクだけだと直接関連のあるものしか見れないので二次リンクまで見えるとよいのではないかという意見が挙げられた。Scrapbox のように二次リンクを表示することでより探索感は上がるとは考えるが、その分画面で表示する情報が急激に増えるため工夫が必要になる

2. 登録情報が増えた場合の対処

誰もが情報を追加できるという利点があるが、一方で登録された情報が増えてカオスになるというデメリットがあるという意見が挙げられた。現在は距離によってフィルターを行っており、画面下部のスライダーで調整ができるがそれでも表示する件数が多くなるとユーザーが欲しい情報を見つけるための障壁になる。

7.2 考察

7.2.1 設計の妥当性

本システムは既存のものとは異なる新しい位置測位システムと情報管理を採用しているが実際に利用したりデモを体験したユーザーからは概ね好意的に受け入れられ、NFC タグを利用したインタラクションと wiki を利用した情報管理を AR に組み合わせた本システムの設計指針は正しかったといえる。また本研究で述べた AR ナビゲーションに対する問題意識にも多くの共感を得られたことから、本システムをベースにして様々な改善や拡張を行うことで、より良い AR ナビゲーションアプリを生み出せると考えられる。

7.2.2 解決すべき課題

1. 一次リンクだけでは関連情報が見つけにくい

一次リンクだけを表示すると単語で直接的に関係のあるものしか見れないため二次リンクを積極的に活用していくべきであると考える。一方で単純に二次リンクをすべて表示することは画面の制約などから難しいためフィルターか、推薦機構が必要である。一例としてリンクを分析した上で接続の多いノードを大きく提示したり推薦する方法が考えられる。

2. 登録情報が増えたときに情報が見にくくなる

現在はユーザーのいる場所からの距離によるフィルターを行っているが、情報量が地域によって違うことが想定されるためこの手法が最適とは限らないこの問題に対しては対しては以下のような工夫が可能であると考える。

- 距離順や接続ノードの数などでソートし上位のみを表示する。
- タグ自体にフィルター用の変数を登録することでタッチしたときからデフォルトでフィルターがかかるようにする。
- ユーザーの個人情報から関心度の高そうなものを優先的に表示する。

7.2.3 問題点の検証

本システムにおいて第 2.3 節で述べた問題点が克服されているかどうかを問題点毎に検証する。

- 立ち上げるまでのインターラクションが面倒
NFC タグを利用することでタッチするだけでアプリを起動することができる。
- 位置測位の方法によって精度や用途が大きく限られる
屋内/室外を問わずナビゲーションに十分な精度で AR を表示できる
- 情報の登録・編集が面倒
wiki を利用し、ページと AR で表示する情報を対応させることで誰もが
- 関連情報を参照・管理することができていない
ハイパーリンクを利用して関連情報を参照・管理できる
- 汎用性のあるアプリケーションがない
環境に左右されない位置測位とジャンルを問わずリンク参照から管理できる汎用性を持っていると言える。

以上のように、第 2.3 節で述べたすべての点に関して問題が解決していることがわかる。

第8章 結論

本章では本研究を総括する。

8.1 研究の成果

本研究では、NFC を利用したインタラクションと AR 情報を wiki で管理するシステムを組み合わせた次世代の AR ナビゲーションシステム「HypAR Wiki」の提案を行った。

まず第 2 章において、AR によるナビゲーションの問題点を 2 次元上での既存メディアの進化と比較しながら分析した。AR でナビゲーションを行う既存システムの現状をとりあげ、AR ナビゲーションシステムの問題点が根本的に解決されていないことを示した。

第 3 章では、第 2 章で述べた AR ナビゲーションシステムの問題点に対する有効的な解決方法を提案した。また、それに基づき本研究で開発した次世代 AR ナビゲーションシステム「HypAR Touch」の基本構成と使い方について述べた。

第 4 章では、「HypAR Touch」のアプリケーション構成と詳細な実装について述べた。

第 5 章では、「HypAR Touch」によって実現可能な応用例について述べた。

第 6 章では、本研究に関連する研究を紹介し、それぞれのアプローチの特徴と問題点を分析した。

第 7 章では、筆者による運用経験やユーザーからのフィードバックをもとに本研究の有効性と問題点を分析した。

8.2 総括

本研究では NFC タグに触れるというインタラクションから AR ナビゲーションを表示でき、表示する AR 情報の管理を wiki で行える「HypAR Touch」の開発を行った。HypAR Touch は NFC タグに触れるインタラクションと Wiki 等の技術の組み合わせによって、ユーザーの位置推定の問題や AR 情報の編集・参照が難しいといった問題を解決した。また有用な活用例を示し、既存のシステムより優れた点があることを示した。今後は第 7 章で述べた問題点についての改善や、システム改善を行っていく。

謝辞

慶應義塾大学環境情報学部 増井俊之教授には学部から4年半の長きに渡りご指導を賜りました。深く感謝いたします。また、本研究の副査としてご意見、ご助言を頂きました中西泰人教授、武田圭史教授に感謝いたします。また自身の研究について幅広い議論をしていただいた政策・メディア研究科博士課程の田中優氏、大和比呂志氏を初め、様々な形でアドバイスをくださった増井俊之研究会所属の学生及びOB諸氏に感謝いたします。

2021年1月 慶應義塾大学 政策・メディア研究科 修士2年 左治木隆成

参考文献

- [1] S. Feiner, B. MacIntyre, T. Hollerer, and A. Webster. A touring machine: prototyping 3d mobile augmented reality systems for exploring the urban environment. In *Digest of Papers. First International Symposium on Wearable Computers*, pp. 74–81, 1997.
- [2] Steven Feiner, Blair Macintyre, and Dorée Seligmann. Knowledge-based augmented reality. *Commun. ACM*, Vol. 36, No. 7, p. 53–62, July 1993.
- [3] S. Kasprzak, A. Komninos, and P. Barrie. Feature-based indoor navigation using augmented reality. In *2013 9th International Conference on Intelligent Environments*, pp. 100–107, 2013.
- [4] Bo Leuf and Ward Cunningham. *The Wiki Way: Quick Collaboration on the Web*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., USA, 2001.
- [5] Alexander Mehler, Giuseppe Abrami, Christian Spiekermann, and Matthias Jostock. Van-notator: A framework for generating multimodal hypertexts. In *Proceedings of the 29th on Hypertext and Social Media*, HT '18, p. 150–154, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [6] B. Ozdenizci, K. Ok, V. Coskun, and M. N. Aydin. Development of an indoor navigation system using nfc technology. In *2011 Fourth International Conference on Information and Computing*, pp. 11–14, 2011.
- [7] 増井俊之. Gyazz-柔軟で強力な万人のための wiki システム. 第 52 回プログラミング・シンポジウム予稿集, 第 2011 卷, pp. 43–50, jan 2011.