

修士論文 2020 年度（令和 2 年度）

HypAR Touch: NFC と Wiki を利用した AR/VR ナビゲーションシステム

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）

HypAR Touch: NFCとWikiを利用したAR/VRナビ ゲーションシステム

論文要旨

NFC技術を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ARナビゲーションシステム、「HypAR Touch」を提案する。モバイル端末によるARナビゲーションは近年普及し始めたが、(1)立ち上げるまでのインターフェースが面倒、(2)位置測位の方法によって精度や用途が大きく限られる、(3)情報の登録・編集が面倒、(4)関連情報を参照・管理することができていないなどといった問題が存在する。HypAR TouchではNFC技術を利用して正確な位置測位やコンテキスト情報の取得を可能とする。さらに、AR情報の管理にWikiを採用することでハイパーリンクから関連する情報を簡単に参照管理することができる。これによってARナビゲーションの問題点が解決されるだけでなく、リンクを使ったより探索的な使い方が可能になる。本論文ではHypAR Touchの設計や実装、その応用例について述べ、研究の発展性について考察する。

キーワード

AR、ナビゲーション、NFC、Wiki、ハイパーリンク

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

HypAR Touch: AR/VR navigation system using NFC and Wiki

Summary

We propose *HypAR Touch*, an AR navigation system that utilizes NFC technology for accurate positioning and contextual information acquisition in AR while incorporating Wiki for AR information management. AR navigation using mobile devices has been popular in recent years, but they have the following problems: 1. cumbersome interaction to start up, 2. accuracy and applications are greatly limited depending on the location positioning method, 3. registration and editing of information are not easy, and 4. reference and management of related information are not available. HypAR Touch uses NFC technology to enable accurate positioning and acquisition of context information. Furthermore, by adopting Wiki for managing AR information, related information can be easily referenced and handled through hyperlinks. HypAR Touch solves the problem of AR navigation and allows for a more exploratory use of links. We describe the design and implementation of HypAR Touch and its applications and discuss the research's development potential.

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によるナビゲーション支援システムの歴史 | 6 |
| 2.2 ARによるナビゲーション支援の現状 | 6 |
| 2.2.1 Google Maps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 | 7 |
| 2.3 ARによるナビゲーションの問題点 | 8 |
| 2.4 テキストや画像の進化 | 9 |
| 2.5 Wikiとナビゲーションへの利用 | 10 |
| 2.5.1 Wiki | 10 |
| 2.5.2 現状のナビゲーションの限界 | 10 |
| 2.5.3 Wikiの有用性 | 10 |
| 2.6 NFC技術とインタラクション | 11 |
| 2.7 まとめ | 11 |
| 第3章 設計 | 13 |
| 3.1 要件 | 14 |
| 3.2 設計 | 14 |
| 3.2.1 NFC技術の利用 | 14 |
| 3.2.2 Wikiの利用 | 15 |
| 3.2.3 NFC技術とWikiの併用 | 16 |
| 3.3 まとめ | 17 |
| 第4章 実装 | 19 |
| 4.1 アプリケーション構成 | 20 |
| 4.1.1 Scrapbox | 20 |
| 4.1.2 HypAR Touchアプリ | 21 |
| 4.1.3 HypAR Touchサーバ | 22 |
| 4.1.4 Gyazo | 23 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1.5 NFC タグ | 23 |
| 4.2 機能 | 24 |
| 第 5 章 利用例 | 35 |
| 5.1 利用例 | 36 |
| 5.1.1 武藏小杉駅及び西谷駅での利用例 | 36 |
| 5.1.2 湘南台での利用例 | 41 |
| 5.2 応用例 | 42 |
| 5.2.1 駅など公共施設での案内 | 42 |
| 5.2.2 近隣施設の探索・推薦 | 44 |
| 5.2.3 学習教材としての利用 | 46 |
| 5.2.4 リンクを利用した柔軟な参照 | 48 |
| 5.2.5 まとめ | 49 |
| 第 6 章 関連研究 | 51 |
| 6.1 主要な研究領域 | 52 |
| 6.2 AR をナビゲーションに利用する研究 | 52 |
| 6.2.1 A Touring Machine | 52 |
| 6.2.2 KARMA | 53 |
| 6.2.3 MARS | 53 |
| 6.2.4 NaviCam | 54 |
| 6.2.5 Feature-Based Indoor Navigation Using Augmented Reality | 55 |
| 6.2.6 Wikitude | 56 |
| 6.3 ユーザの位置測位及びコンテキスト情報の取得に関する研究 | 57 |
| 6.3.1 RSSI based Bluetooth low energy indoor positioning | 57 |
| 6.3.2 Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System | 58 |
| 6.3.3 App Clips | 59 |
| 6.4 NFC を用いて情報を取得し、ナビゲーションに応用する研究 | 60 |
| 6.4.1 Bridging physical and virtual worlds with electronic tags | 60 |
| 6.4.2 GoldFish | 60 |
| 6.4.3 Development of an Indoor Navigation System Using NFC Technology | 61 |
| 6.5 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 | 62 |
| 6.5.1 StAR-Wiki | 62 |
| 6.5.2 VAnnotatoR | 62 |

| | | |
|---------------|---|-----------|
| 6.5.3 | WIKIHIKE | 63 |
| 6.5.4 | HyperReal | 64 |
| 6.5.5 | Annotation authoring in collaborative 3D virtual environments | 65 |
| 6.5.6 | MagicBook | 66 |
| 6.6 | その他関連研究 | 66 |
| 6.6.1 | Hycon | 66 |
| 第7章 考察 | | 69 |
| 7.1 | 評価 | 70 |
| 7.1.1 | 意見・感想 | 70 |
| 7.1.2 | 筆者の運用経験 | 70 |
| 7.1.3 | 問題点・要望 | 71 |
| 7.2 | 考察 | 71 |
| 7.2.1 | 設計の妥当性 | 71 |
| 7.2.2 | 解決すべき課題 | 71 |
| 7.2.3 | 問題点の検証 | 72 |
| 第8章 結論 | | 73 |
| 8.1 | 研究の成果 | 74 |
| 8.2 | 総括 | 74 |
| 謝辞 | | 75 |
| 参考文献 | | 76 |

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、早い物では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物と携帯端末のカメラを通じた映像に情報を付加する物が存在するが、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いくつかの問題点があるため、AR は汎用的なヘルプ・ナビゲーションシステムとしては現在充分活用されているとはいえない。

- 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 Suica に代表されるような近距離無線通信 (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くつかの利点が存在する。

- 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要件と設計について述べる。

第 4 章では、本論文で提案するシステムの詳細な実装と機能について述べる。

第 5 章では、本論文で提案するシステムの利用例および応用可能な例を紹介する。

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によるナビゲーション支援システムの歴史

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[5]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[4]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物であるが、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かった。

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。代表的な物としてWikitude¹が挙げられる。これらもモバイル端末の普及と合わせて話題となつたが、位置測位精度の面で課題が残る物であった。

2.2 ARによるナビゲーション支援の現状

ARによるナビゲーション支援として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 Google MapsのARナビ機能

Google²は2018年のGoogleI/O 2018³で自社の開発する地図アプリケーションGoogle Maps⁴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。この機能は目的地を地図で選択した上でARモードに切り替えることで起動でき、図2.1のようにARで道案内を表示する機能である。このアプリケーションではGPS(Global Positioning System)による位置情報や方位センサによる方位情報に加え、カメラで取得した周囲の景色の情報を元にユーザの位置と向きを判別し比較的高精度なAR表示を提供している。一方で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おり、GPSの届かない場所や周囲の景色による解析が難しい屋内では利用できないと言うデメリットが存在している。

¹<https://www.wikitude.com/>

²<https://google.com>

³<https://events.google.com/io2018/>

⁴<https://www.google.com/maps>



図 2.1: Google Maps での AR 表示

2.2.2 遺跡・史跡の AR ナビゲーションアプリ

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採用されている。これらのアプリケーションの大半は史跡の各地点にマーカーを設置し、その場所に関する解説や当時の様子を再現した CG を AR で表示するという物である。今回は一例として松山城址のナビゲーションアプリである「攻略 松山城」⁵を紹介する。このアプリは AR での表示を用いながら松山城の歴史や仕組みをテキストや動画で解説するアプリである。具体的には図 2.2 のような専用のマーカーをアプリのカメラで読み込むことで、図 2.3 のように解説動画のリンクを適切な位置に表示する。広い史跡の中で実際の場所と見比べながら当時の様子や解説を参照できるこのようなアプリケーションはパンフレットなどと比べわかりやすく、有用であると言える。一方でこのようなアプリケーションには以下のような問題点がある

- マーカーの設置が面倒である
表示したい場所ごとに図 2.2 のような大きなマーカーを設置しなければならずコストが高いと言える。
- アプリのダウンロード案内が別途必要になる
案内専用のアプリとマーカーを利用しているためマーカーだけでなくアプリをダウンロー

⁵<https://www.cadcenter.co.jp/works/archives/98>

ドするための案内も必要になり、案内が冗長になってしまう。また特定の目的ごとに専用のアプリケーションを導入させる仕組みはユーザの負担となりうる。



図 2.2: 専用のマーカー



図 2.3: AR での案内

2.3 AR による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(1)設置されたマーカーを元にアプリを選択、(2)アプリを起動、(3)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ケーションの場合、このような手順は必要ないが後述するように精度が悪く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)マーカーを使う方法と(2)GPSによる座標検知と方位情報をあわせて利用する方法の2通りに大別される。(1)の場合マーカーが読み込めば精度は高いが、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面に疑問

が残ることに加え、GPS 電波の届く屋外に利用が限定される。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、精度を上げているが周囲の景色が登録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 で単に目的地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。一方で AR で表示したい情報は常に変化する可能性があり、今後も増加していくことが予想される。このような状況で一般ユーザが気軽に情報を登録編集できる環境を整えることは非常に重要である。

- 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したが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。しかしながら既存のナビゲーションアプリでは 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、特定の分野でや条件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 ナビゲーションアプリは開発されていない。そのため現状では目的や施設ごとにアプリケーションをユーザ側で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。ユーザの目的やニーズは多岐に渡るためニーズごとにアプリケーションを分けて推薦するのではなく、様々な種類の情報を包括的に管理できるシステムが求められている。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発展し、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、あらゆる文書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[12] が登場したことにより柔軟で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かった。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った。このようにして公開された画像は URL に

よって一意に参照することができ、画像の再利用性は大きく高まった。また Google Maps のように、地理情報システム（GIS : Geographic Information System）が誰でも検索・参照可能な形で Web に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機能を持っている。

2.5 Wiki とナビゲーションへの利用

2.5.1 Wiki

Wiki は Ward Cunningham が提案した不特定多数のユーザーが文書コンテンツを編集・管理するための Web システムである。Wiki には以下のような特徴があり、情報を集積するコンテンツで多く活用される。

- ブラウザを使って誰でも Web 上で情報編集/共有ができる、
- 文書間にリンクが張りやすく、個々の文書が高度に連携した文書群を作成しやすい

2.5.2 現状のナビゲーションの限界

第 2.2 節で挙げたとおり現状のナビゲーションシステムは決まった目的地へ案内することを目的とする物が多い。また目的地の検索機能を有していても、ユーザは能動的にキーワードを入力し目的地を絞り込む必要がある。一方で、ナビゲーションを必要としているユーザの多くは漠然と達成したいことがあっても実際の目的地が分かっていない。場合によっては達成したいこと自体が曖昧で言語化できていないこともある。このような場合、ユーザに目的地を指定・検索させて案内をする現状のナビゲーションではユーザの目的を達成する事ができない。ユーザ側に目的に関する知識や明確な意思がない場合に案内をできないことが現状のナビゲーションの限界であると言える。

2.5.3 Wiki の有用性

上記のようなナビゲーションの限界を解決するために必要な要素は以下であると考える。

1. 幅広い分野の情報を提示することができる
2. ユーザが周囲の情報を能動的に探索できる
3. その結果自身の目的を明確化し目的地を確定できる。

このような要素は情報管理ツールとして Wiki を利用すること満たすことができる。Wiki は情報を分野で階層化・グルーピングすることなく一元的に管理する。そのため 1 のように分野にとら

われない情報の提示が可能である。また Wiki はハイパーリンクによって文書間で参照しており、関連情報へのアクセスが容易である。この特徴によって 2 のようにリンクをたどりながら自分の興味のある分野へページを遷移し、情報を探索することができる。さらに探索によってユーザは周囲の情報を知識として吸収し、3 のように目的を明確化することができる。以上のような理由からナビゲーションに Wiki を利用することで既存のナビゲーションの限界を打破した新しい形のナビゲーションが提供できると考える。

2.6 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特徴があり、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物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、現在一般的な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。

一方で 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という制約がある。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、NFC タグを読み取ったタイミングでのユーザ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とも言える。つまり NFC タグに位置情報をもたらせることができれば非常に小さ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 1 つである NFC の位置測位の問題を解決する。

2.7 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、モバイル端末の普及と発展により実用段階に来ているプロダクトも増えている。しかしながら第 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。次章では第 2.3 節に挙げた AR ナビゲーションシステムが持つ問題点を解決した、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。

1. 手軽なインタラクションでアプリケーションの起動と位置測位ができる。
2. 周囲のコンテキストを簡単に指定できる。
3. AR での表示情報を容易に登録・編集できる。
4. 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 の組み合わせによって実現できる。

3.2 設計

NFC を利用したインタラクションと Wiki を採用することで前節に上げた要件を満たすことを説明し、本システムの設計を記述する。

3.2.1 NFC 技術の利用

前章で述べた通り NFC タグの持つ様々な性質はナビゲーションシステムにとって有用である。この性質を利用し、NFC タグのタッチからアプリの起動と位置測位を行うことで前節の要件 1 を満たすことができる。また NFC タグに記録された情報から周囲のコンテキストを把握することで前節の要件 2 が達成される。

要件 1：手軽なインタラクションでアプリケーションの起動と位置測位ができる

NFC タグによるインタラクションにはカメラでマーカーを読み込むインタラクションなどと比べて以下のような優位性がある。

- データの読み込みが非常に早い
- モバイル端末でアプリが起動していない状態でも読み込み可能である
- 周囲の明るさなどの環境要因に左右されず安定して読み込み可能である

このような NFC タグによるインタラクションの特徴を利用し、HypAR Touch では次のような動作を設計した。

1. NFC タグに緯度経度・方位の情報を記録する。

2. NFC タグへのタッチを契機にアプリケーションを起動する。
3. NFC タグを読み取るには数センチ以内の距離で平行にタッチする必要があるため、モバイル端末の位置が確定する。
4. 3 での前提を元に NFC タグに記録された緯度経度・方位の情報から初期位置を算出する。
5. アプリの起動後は 4 で設定した初期位置とモバイル端末の加速度センサによるデータを組み合わせ位置を算出する。

これにより「NFC タグにタッチする」という手軽なインタラクションでアプリケーションの起動及び位置測位が実現できることになる。

要件 2：周囲のコンテキストを簡単に指定できる

NFC タグには上記の特徴以外にも以下のような利点がある。

- 小型である
- 電源がいらない
- 情報を埋め込める十分な容量

このような特徴は実世界に設置し周囲のコンテキスト情報を記録する媒体として非常に優れている。本研究においては NFC タグを利用し、緯度経度情報や方位の情報のみならず設置している物や場所に合わせた情報なども記録する。また本システムは普及に向けた観点から、事業者やユーザーなどシステムに詳しくない一般人がタグを設置するを想定している。そのため NFC タグを利用することには上記の理由に加え以下のようないくつかのメリットがある。

- 1 枚あたりのコストが十数円と非常に安価である
- 読み込み距離を担保できれば外見を気にすることなく設置が楽である

本システムではこのような特徴を活かし、誰もが NFC タグを設置できるよう一意な ID を記録した NFC タグを配布し、貼り付けた場所の情報をアプリから登録する方法を採用した。

3.2.2 Wiki の利用

Wiki はハイパーリンクを含んだ文書を手軽に作成・編集・管理できるツールである。Wiki システムを AR 情報の管理・編集ツールとして利用することで前節の要件 3、4 を満たすことができる。

要件 3：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

Wiki はハイパーリンクによってページ間にリンクを張ることができ、個々のページが高度に連携した文書群を作成することができる。その結果適切にリンクが貼られていれば文書内のリンクを辿るだけで容易に関連情報を参照することが可能である。このような Wiki の特徴はナビゲーションシステムにおける関連情報の提示に適しているといえる。

要件 4：AR での表示情報を容易に登録・編集できる

現在多く使われる Wiki システムには Web 上で内容を編集する仕組みが標準で備わっており、誰もが容易に内容を登録・編集することが可能である。またハイパーリンクやタグの記述に加え、画像や動画といったメディアの参照・埋め込み機能に対応しているシステムも多い。このように高機能な編集機能をもった Wiki を AR ナビゲーションの情報源として利用することで AR 情報を容易に登録・編集できる環境を実現する。

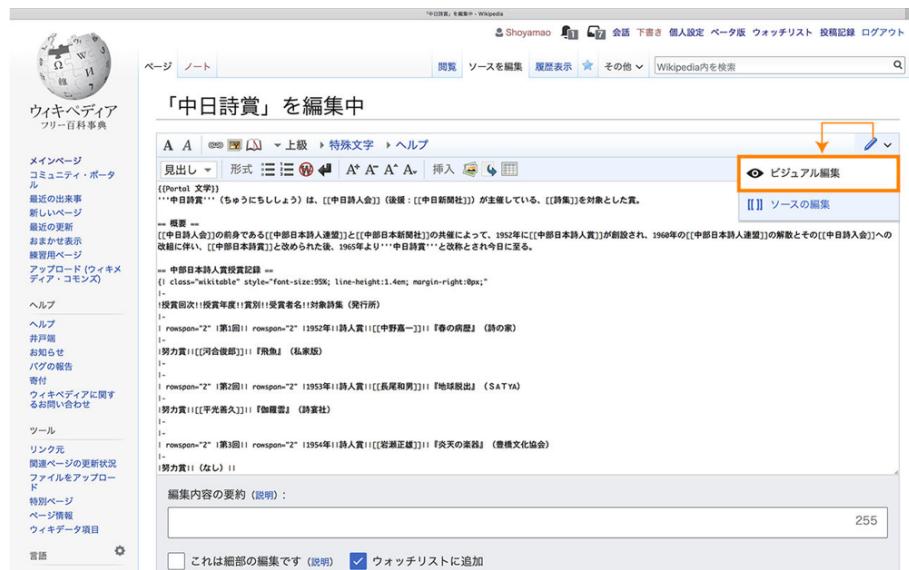


図 3.1: Wikipedia での編集画面

3.2.3 NFC 技術と Wiki の併用

上記のような NFC 技術と Wiki の利点を組み合わせることで前節の要件 5 も満たすことができる。

要件 5：広い分野の知見と用途を総合的に管理できる

Wiki はハイパーリンクで情報を整理・参照するため、グループによる情報分類や階層的な情報の管理を必要としない。したがって Wiki では異なる分野の情報をフラットに管理し、参照することができる。実際に Wikipedia を利用した百科事典である Wikipedia はあらゆる分野の情報を総合的に管理しながらも破綻なくシステムを運用している。このような Wiki システムを AR 情報の管理に利用することで、分野を横断した知見の管理が可能になり、様々な用途に対応したナビゲーションシステムを作成できる。

Wiki システムを利用すると広い分野の情報を一元的に管理することができるが、一方で自身の欲しい情報を探す際に手間となる事がある。これを避けるために NFC タグに記録されたコンテキスト情報を活用し検索・フィルタが可能なシステムを本研究では採用した。

これより広い分野の情報を一元的に管理できる Wiki の利点を活かしながら様々な用途に対応したナビゲーションを提供する事が可能となる。

3.3 まとめ

本章では第 2 章で整理した AR ナビゲーションの現状と問題点を元に次世代 AR ナビゲーションシステム、HypAR Touch の要件を定義した。さらに定義した要件は NFC 技術と Wiki システムを組み合わせることで達成されることを提案し、その詳細を設計で示した。次章では本設計を元に開発した HypAR Touch の実装とその機能を説明する。

第4章 実装

本章では第3章で述べたシステムの設計を元にした、HypAR Touch の実装及び機能について述べる。

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)。

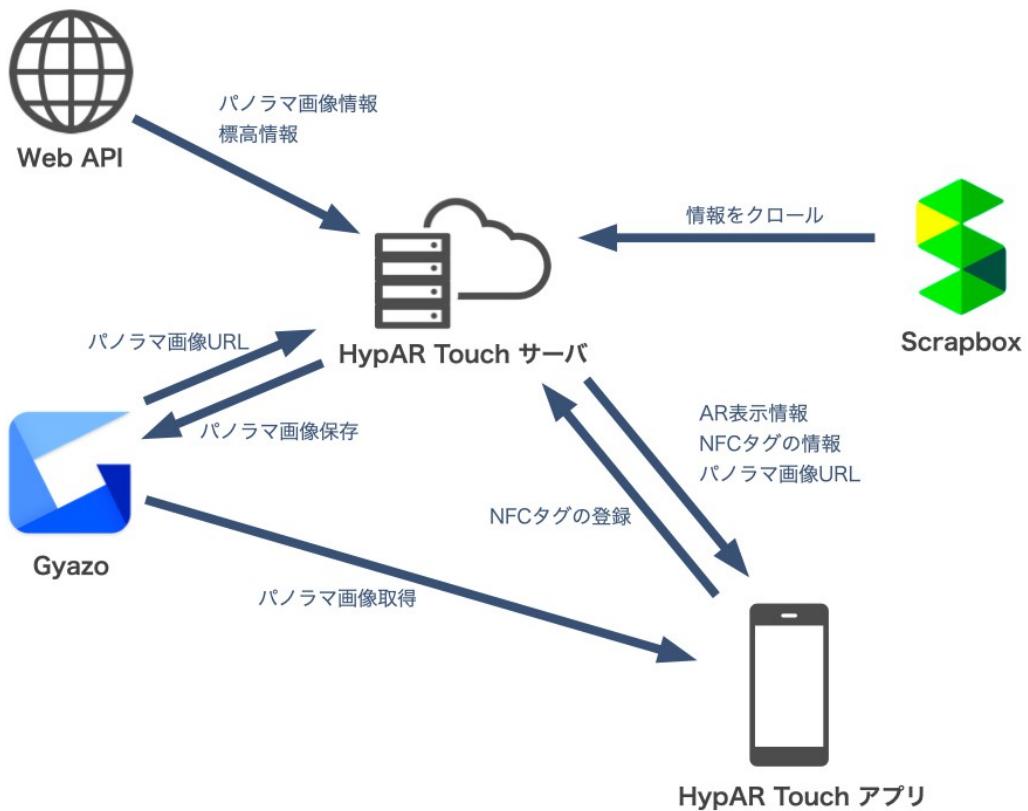


図 4.1: 構成図

4.1.1 Scrapbox

Scrapbox(図 4.2) は Gyazz[20] をベースにして開発された、Nota²社が運営している Wiki である。本システムではこの Scrapbox を AR で表示する情報の管理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ような HypAR Touch に適した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

¹<https://gyazo.com>

²<https://www.notainc.com/ja>

Google Maps の URL を貼り付けるだけで地図を埋め込める Location 記法³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。本システムではこの Location 記法によって表示する情報の場所を指定している。

- リンク記法によるシンプルなハイパーアリンクと関連ページリスト

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

といった関連ページリスト(図 4.3)が表示され、どのような情報と関連するのかが一目瞭然に分かる。

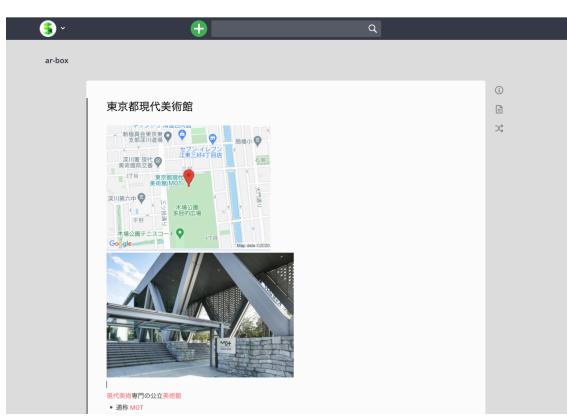


図 4.2: Scrapbox の画面

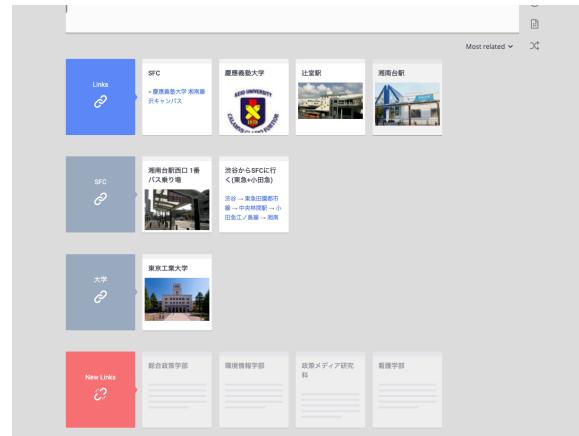


図 4.3: Scrapbox の関連ページリスト

Scrapbox では文書の集合である Wiki を「プロジェクト」という単位で管理しており、プロジェクトによってメンバ・公開設定等を設定可能である。プロジェクト内のページはすべてフラットに管理され、上記の記法でページ間をハイパーアリンクでつなぎ容易に参照できる。HypAR Touch では NFC タグで対象とする Scrapbox のプロジェクトを選択できるようにしている。また HypAR Touch ではプロジェクト内の 1 ページが AR で表示される 1 つのノードに対応するようになっている。

Scrapbox 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 API⁴を持っており、これを利用することで HypAR Touch サーバは Scrapbox をクロールしている。

4.1.2 HypAR Touch アプリ

HypAR Touch アプリは ReactNative⁵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 は Web 技術を利用し、マルチプラットフォームな

³https://scrapbox.io/help-jp/Location_記法

⁴<https://scrapbox.io/help-jp/API>

⁵<https://reactnative.dev/>

モバイル端末向けアプリケーションを作成するためのフレームワークである。このReactNative利用することでHypAR TouchアプリはAndroidとiOSの両方に対応した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)
- 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のプロジェクト名をもとにHypAR TouchサーバーからARで表示する情報を取得する。その上で取得した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情報の位置を相対的に算出している。また各AR情報には登録された位置付近で撮影されたパノラマ画像のURLが含まれている。視点移動機能ではこのURLで登録された360度画像からVRのビューを作成している。

4.1.3 HypAR Touchサーバ

HypAR TouchサーバはNode.js⁶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フレームワークとしてExpress⁷を用い、そのホスティング環境としてBaaS(Backend-as-a-Service)の1つであるHeroku⁸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サーバは指定されたScrapboxのプロジェクトを定期的にクロールし、位置情報やサムネイル画像のURL、リンク情報など、AR表示に必要な情報をまとめてデータベースに永続化している。これによりユーザがScrapboxに加えた変更がARでの表示に対応するようになっている。

- 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が記録されており、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。

⁶<https://nodejs.org/>

⁷<https://expressjs.com/>

⁸<https://www.heroku.com/>

第3章で記述した視点移動機能を実装するためには AR で表示する情報に加えて、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 で表示する情報ごとに Google Street View の API⁹を利用してその地点からの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。

- 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 つの情報を生成・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。

4.1.4 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画像を保存する画像/映像専用のクラウドストレージサービスである。Gyazo には十分な保存容量があり、画像のアップロード・取得等の API も揃っている。そのため自身のサーバよりも安全に画像を管理可能な Gyazo を本システムでのパノラマ画像の保存先として利用している。

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 FORUM が策定したデータフォーマットである NDEF を利用することで NFC 機能を持つほとん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 つのタイプが存在する。このうち URI タイプで書かれた NFC タグは殆どの NFC 対応スマートフォンでの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 4.4 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記述しアプリケーション側にその情報を渡すことが可能である。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、モバイル端末で NFC タグにタッチするだけでアプリの起動及びタグ ID の受け渡しが可能となる。

⁹<https://developers.google.com/maps/documentation/streetview/overview>



図 4.4: Custom URL Scheme

4.2 機能

(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 4.5 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端末の位置と向きが認識され、図 4.6 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 4.7）を動かすことで AR で表示する情報の距離の範囲を指定することができる。



図 4.5: NFC タグにタッチする様子



図 4.6: AR での表示

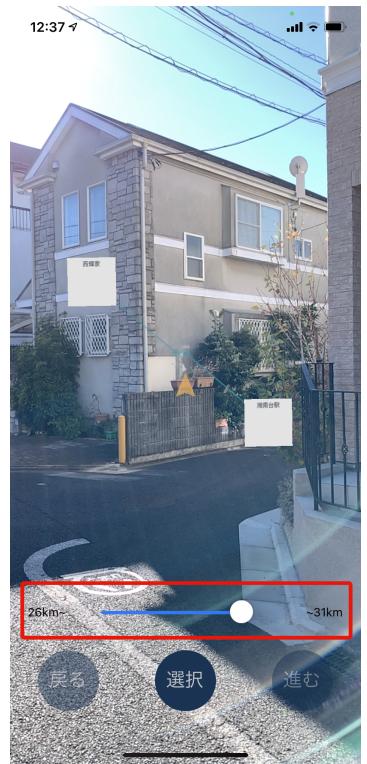


図 4.7: スライダーによる距離指定

表示された AR 情報の関連情報を表示・選択する 画面の中央にはオレンジ色の三角のカーソルが表示されており、これを AR で表示された情報の上に重ねると青い枠線が表示される(図 4.8)。その状態で画面下部の選択ボタンを押すと図 4.9 のように関連する情報が放射状に配置されて表示される。これらの表示された関連情報も同じようにカーソルで選択することができる(図 4.10)。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。



図 4.8: カーソルを重ねた状態



図 4.9: 選択した状態



図 4.10: 関連情報の選択

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画面上部には図 4.11 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 4.12)。



図 4.11: 詳細を表示するボタン



図 4.12: Scrapbox での情報表示

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 情報にカーソルを重ねると画面下部中央のボタンが「移動」に変化する(図 4.13) この移動ボタンを押すと図 4.14 のような地図での移動アニメーションを経て、選択した情報のある場所からの視点(図 4.15)に切り替えることができる。



図 4.13: 移動ボタン



図 4.14: Map での移動アニメーションの途中



図 4.15: 移動先からの視点

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画面の何も表示されていない部分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は常に保存されており、画面下部の「戻る」「進む」ボタン(図 4.16)で履歴を参照することができる。



図 4.16: 進むボタンと戻るボタン

(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 タグで指定された Scrapbox のプロジェクトをもとに生成される。Scrapbox のプロジェクトにあるページのうち、Location 記法によって位置情報の記述の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 4.17 の①部分であり、ページを作る上で必須となる項目である。このタイトルは HypAR Touch アプリ側でサムネイルとともに AR 表示される。

- Location 記法による記述

Scrapbox にはソースコード 4.1 のような Google Maps の URL をソースコード 4.2 のような Location 記法に変換し、図 4.17 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、AR 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 上で表示する場所を指定する。

ソースコード 4.1: 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!1s0x60188bfbd89f700b:0  
x277c49ba34ed38!8m2!3d35.6812362!4d139.7671248
```

ソースコード 4.2: Location 記法

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

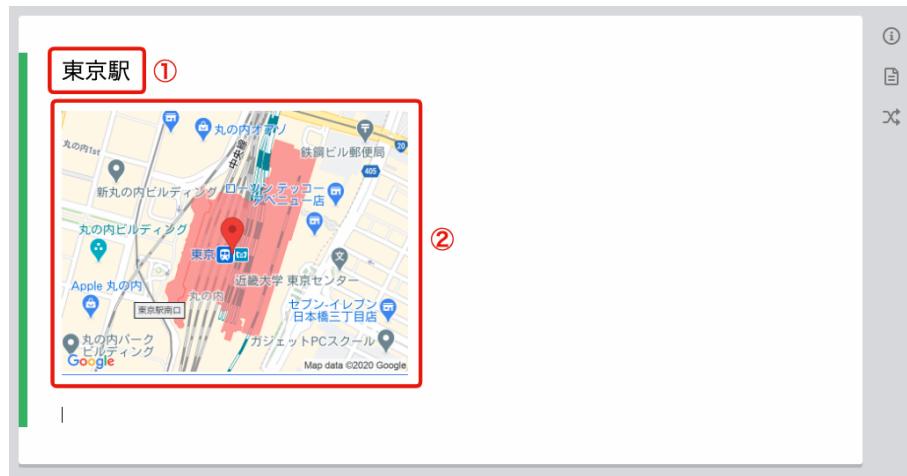


図 4.17: 新しくページを作成した時

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 4.18 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、ページの一番上にある画像が AR 表示でのサムネイルになる。(図 4.19)

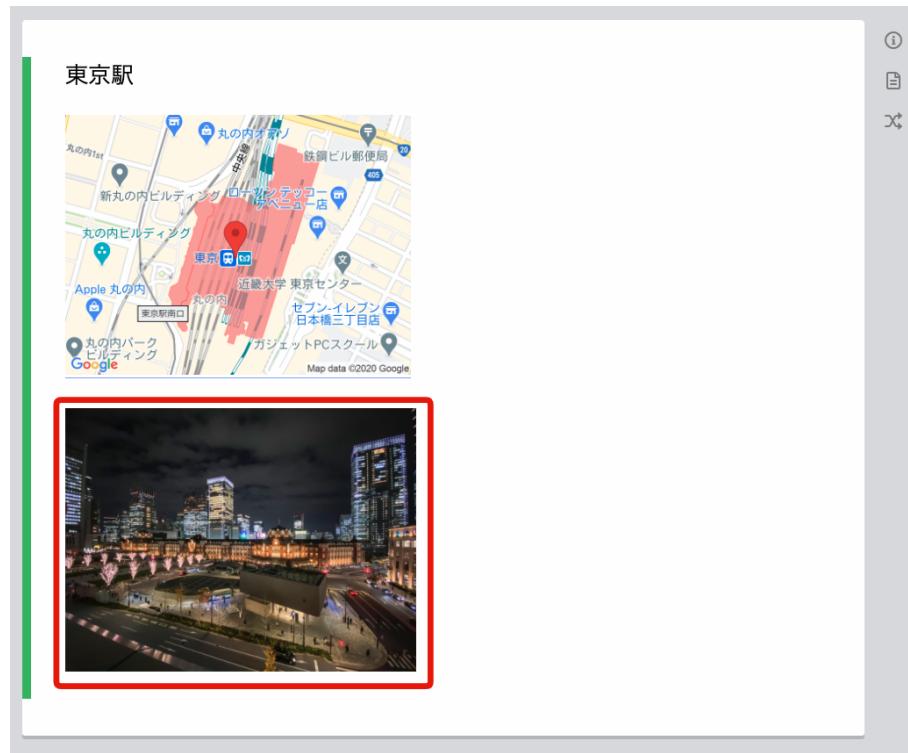


図 4.18: Scrapbox に貼り付けた画像

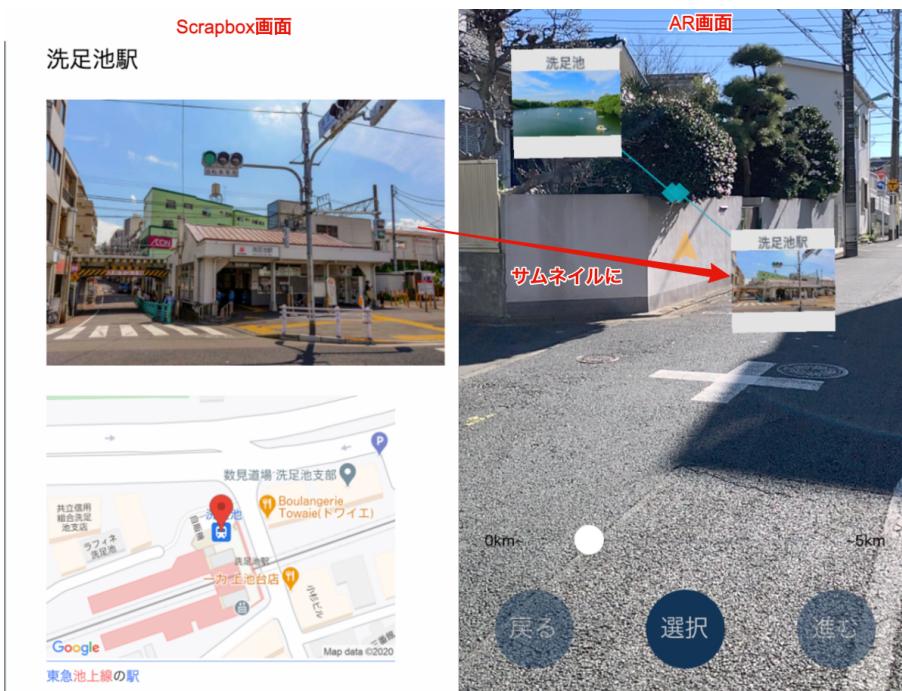


図 4.19: Scrapbox 上の画像と AR での表示

ハイパーリンクを利用して説明を書く Scrapbox では単語を [] で囲うことにより同一 Wiki 内ページへのハイパーリンクと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 上で関連情報として表示されるようになる(図 4.20)。AR で表示したい情報の説明を書き、説明文中の単語を積極的にハイパーリンクにすることで関連する情報を提示することができる。



図 4.20: Scrapbox 上のリンクと AR での表示

(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。また情報を記録する際には NFC FORUM¹⁰によって標準化されている NDEF フォーマットで情報を書き込む。書き込む情報は図 4.21 のように CustomURLScheme に沿った URI の形式で書き込む。

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

アプリのスキーム 一意なID

図 4.21: NFC に書き込む URI データ

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

- 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

¹⁰<https://nfc-forum.org>

- 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 4.22)により登録可能である。

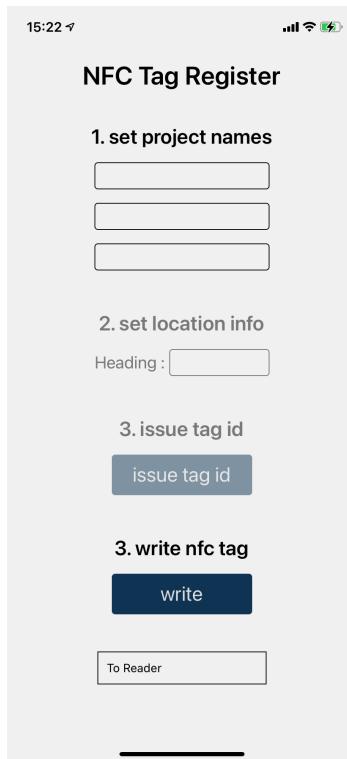


図 4.22: モバイルアプリでの登録

第5章 利用例

本章では、HypAR Touch を実際に利用した様子と今後実現可能な応用例について述べる。

5.1 利用例

HypAR Touch のプロトタイプを実際にナビゲーションシステムとして利用した際の様子を述べる。

5.1.1 武蔵小杉駅及び西谷駅での利用例

この利用例は武蔵小杉駅から相鉄・JR 直通線に乗り、西谷駅で降りて昼食を取るユースケースを想定したものである。

(1) 武蔵小杉駅での利用

武蔵小杉駅は図 5.1 のように JR と東急電鉄の駅が立体的に重なっている上に、横須賀線など JR 線の一部ホームが非常に離れたところにある特殊な形をしている。今回のユースケースでは東急電鉄の改札がある図 5.1 の①からスタートし、②の JR 改札口を通り③のホームまで向かう。

まずは①の地点で利用した様子を述べる。図 5.2 は①から②の方向を見た時の様子である。②の方向には「武蔵小杉駅」の表記があり、表記の奥にあるエスカレータを登ることで②の改札に到達できることがわかる。また図 5.3 は①から正面(図 5.1 の上方向)を見たときの様子である。正面に「武蔵小杉駅南武線ホーム」という表示があるように、その方向には②から階段を降りた南武線のホームがある。今回のユースケースでは南武線に乗らなかったが、南武線に乗り換える場合はこの場所に南武線のホームがある事がわかるため乗り換えの際、他のホームと間違える可能性が少なくなると考えられる。



図 5.1: 武蔵小杉駅の構内図



図 5.2: 地点①から②を見た時



図 5.3: 地点①から正面を見た時

次に図 5.1 の②の地点で本システムを使用した様子を述べる。図 5.4 は②の地点から③の位置を見ている時の様子である。距離の表示で 402m とあるように横須賀線のホームが改札奥右側の階段を降りた先にあることがわかる。実際に横須賀線のホームに向かうためには改札奥右側の階段を降りる必要がありこの表示が正しいことがわかる。



図 5.4: リンクを利用したルートの表記例

このように武藏小杉駅での利用例から、ARで正しい位置に案内表示が出来ることで複雑な構造の駅でも悩まず乗り換えができることが分かる。

(2) 西谷駅での利用

次に、西谷駅の近くで飲食店をさがすために本システムを利用した。知らない土地での利便性を確かめるため、筆者が一度も訪れたことがなく土地勘のない西谷駅を選択した。また西谷駅付近の飲食店の情報は西谷駅周辺に住む研究室の学生の情報を元に入力した。

西谷駅は図 5.5 のような比較的単純な形をしている。今回は改札を出た図 5.5 の①の地点で本システムを利用した。図 5.6 は図 5.5 の①の位置から矢印方向にモバイル端末を向けた上で、「丸一」という AR 情報を選択したときの様子である。選択された AR 情報の周辺には関連リンクである「ラーメン」、「家系」、「西谷駅」の 3 つが表示されている。このようなリンク情報とサムネイルからこのお店は家系と呼ばれる種類のラーメン屋であり西谷駅の近くにあることがわかる。また関連リンクのうち「ラーメン」を選択したときの様子が図 5.7 である。表示される情報が「ラーメン」というリンクが含まれる AR 情報に絞られ、実際に付近のラーメン屋である「丸一」、「北海ラーメン 蝦夷」、「麺屋 燐 TASUKU」が表示されている。さらに図 5.8 は付近のラーメン屋である「北海ラーメン 蝶夷」を選択した時の様子である。サムネイルからラーメンの様子がわかるだけでなく、「生姜焼き」というリンクから生姜焼きが有名であることがわかる。今回の利用では最終的に「北海ラーメン 蝶夷」に向かうことにしたが、既に AR の表示から図 5.5 の矢印の

方向 160m にあることが分かっているので図 n の②の出口から道沿いに進むだけで実際に店にたどり着くことができた。

西谷駅での利用例から、本システムは以下のように利用できることが分かった。

- 付近のお店を探すことができる。
- リンク情報からお店の系統や有名なメニューを知ることができる。
- リンク情報をもとに同じ種類の店一覧を見る能够である。

このように探索的なナビゲーションが AR で表示されることによって、自身の全く知らない場所でも迷いなく店を比較検討し、実際に訪れることが可能である。



図 5.5: 西谷駅の構内図

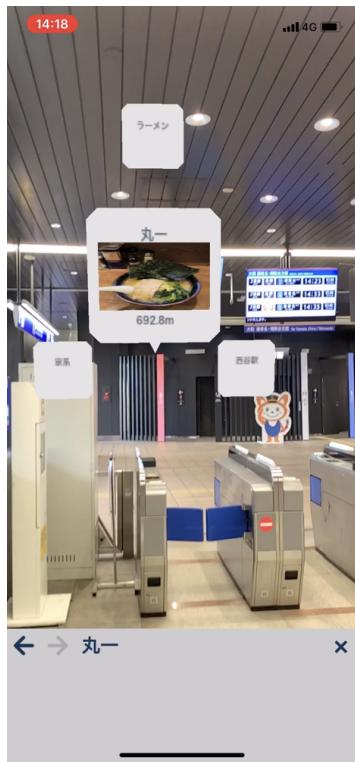


図 5.6: 「丸一」を選択した時

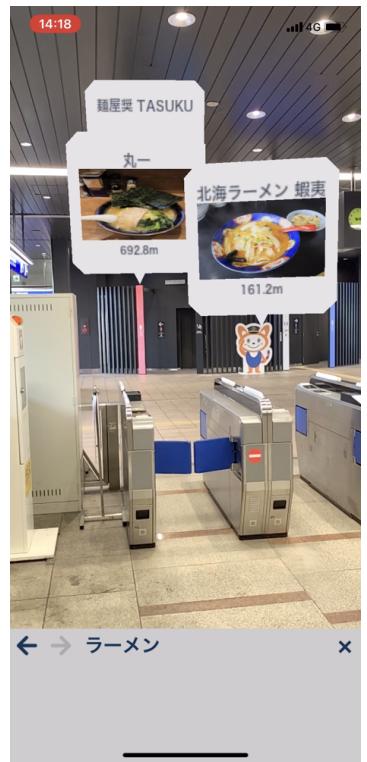


図 5.7: 「ラーメン」というリンクを選択した時



図 5.8: 「北海ラーメン 蝦夷」を選択した時

5.1.2 湘南台での利用例

この利用例は湘南台の小田急改札から本システムを利用して SFC に向かうバスに乗るユースケースを想定したものである。

図 5.9 は湘南台駅の小田急改札前で西側を向いたときの本システムの様子である。この時点で西方向には AR で「西口バスのりば」の表示が出ている。さらにこの情報を選択した状態が図 5.10 である。ここでは関連リンク情報として「バス」「バスのりば」「SFC」の 3 つが表示されている。このことからこのバス乗り場が SFC に向かうバス停であることがわかる。この AR 情報は「SFC」という単語から検索を行っても関連情報として表示されるので、SFC にはじめて来るユーザでも迷うことなくバス停の場所がわかる。

さらにこの AR 情報を選択した状態で移動ボタンを押し、バス停付近に視点を移動させた時の様子が図 5.11 である。今回の例のようにユーザが地下におり、目的地である地上の様子がわからない時などはこの視点移動機能で現地の様子を確認することができる。この機能により万が一目的地付近で迷っても、目的地視点の情報から正しく目的地に到達できる。

また図 5.12 はバス停から遠い地上出口から案内を見た時の様子である。この場合も図 5.9 同様にバス停の位置を正しく表示している。本システムはアプリの起動や案内がタグへのタッチだけで行なえるため、少しでも経路が不安になったら付近のタグにタッチして目的地の場所を再確認する事ができる。

このようにタッチというインタラクションだけで新しい案内に更新できる本システムは地理感覚のない土地での案内として非常に有用である。



図 5.9: 湘南台駅(地下)からの案内



図 5.10: バス停の情報を選択した時



図 5.11: バス停付近からの視点



図 5.12: 地上出口からの案内

5.2 応用例

前節での実際の利用を踏まえ考えられる利用例及び応用例をまとめ、その利点を記載する。

5.2.1 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場合が多く、2 次元の地図を提示するか矢印などによる案内表示を行うのが一般的である。しかしながら両者にはそれぞれ案内システムとして問題が存在する。

2 次元の地図は内部構造が複雑な屋内を表現することが難しく、地下鉄ホームなどの複雑な地形の案内に不向きである。また設置できる場所に限りがあり、必要な時に参照できないことがある。矢印などによる案内表示の場合、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。

これらの従来の案内システムと比べ、本システムでは AR で目的地を直接提示(図:5.13)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 NFC タグは一枚あたり十数円と安価で、サイズも小さいため設置場所やコストに困るケースは少ないといえる。さらに NFC タグに紐付いた情報により表示する AR 情報のある Scrapbox プロジェクトやハイパーリンクによるフィルターを指定できる。そのため駅の出口だけを案内したり(図:5.14)広告

として特定店舗だけを案内したり(図5.15)といった特定の用途に特化した案内をすることも可能である。

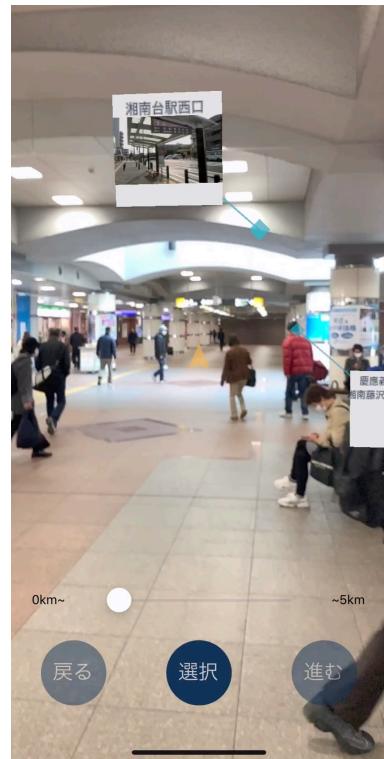


図 5.13: 案内の様子

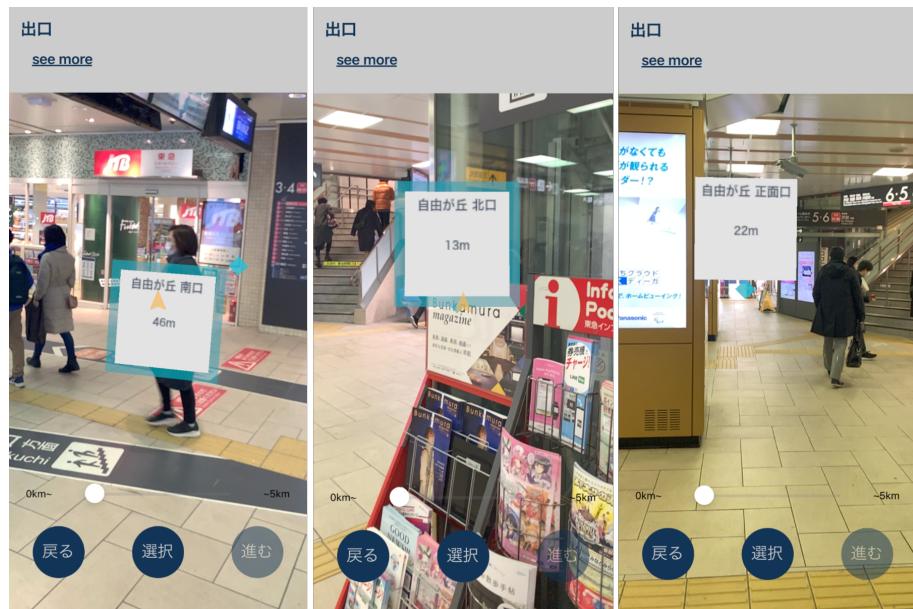


図 5.14: 出口だけの案内

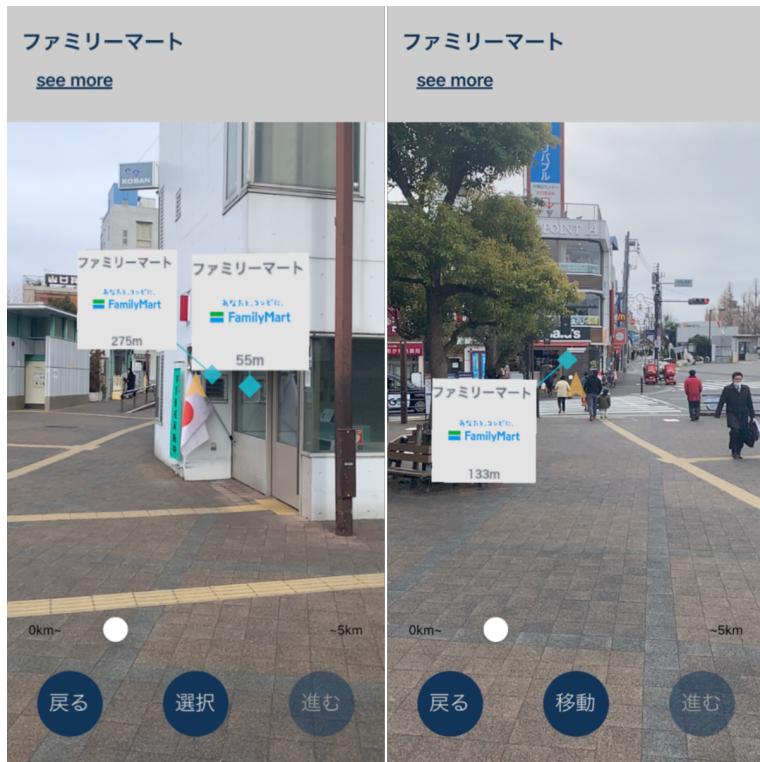


図 5.15: コンビニだけをフィルタした様子

5.2.2 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参照できる点が挙げられる。その結果以下のようないくつかの探索が AR 上で行える

- 近隣施設の情報にあるリンクから関連情報を参照する
- 関連情報から興味のあるジャンルの店舗を発見する
- 履歴機能を使いながらほかの情報を比較する

上記のような能動的探索行為は目的地への案内のみを目的としている既存のアプリケーションでは体験できないものである。

例として神保町のように様々な分野の店舗情報が登録される可能性が高い地域で本システムを利用する例を考える。本システムのユーザが神保町にウィンタースポーツ用品を買いに来ていたと仮定する。

神保町には多くのウィンタースポーツ用品店があるため、これらを比較しながら巡りたいと考える可能性は高い。このような場合 AR での表示情報から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 5.16)。ウィンタースポーツ用品店をめぐりたい場合はこれらのリンクを選択することで各店舗を比較しながら見ることができる。

その後同じく神保町で食事を取りたいと考えたとする。本システムではウィンタースポーツ用品店の情報も飲食店の情報もおなじ Wiki プロジェクトに含まれているため先程とおなじタグから飲食店の探索ができる。実際に、興味のある飲食店を選択する(図 5.17)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(図 5.18)、他の店舗と比較しながら探索できる。

このように本システムは様々な施設の情報が混在していてもリンクを選択していくことで自分の求める情報を探索でき、既存の AR ナビゲーションアプリにない魅了を持った非常に拡張性の高いシステムであると言える。



図 5.16: スキーのリンクを選択した時のイメージ



図 5.17: 飲食店を選択した時のイメージ

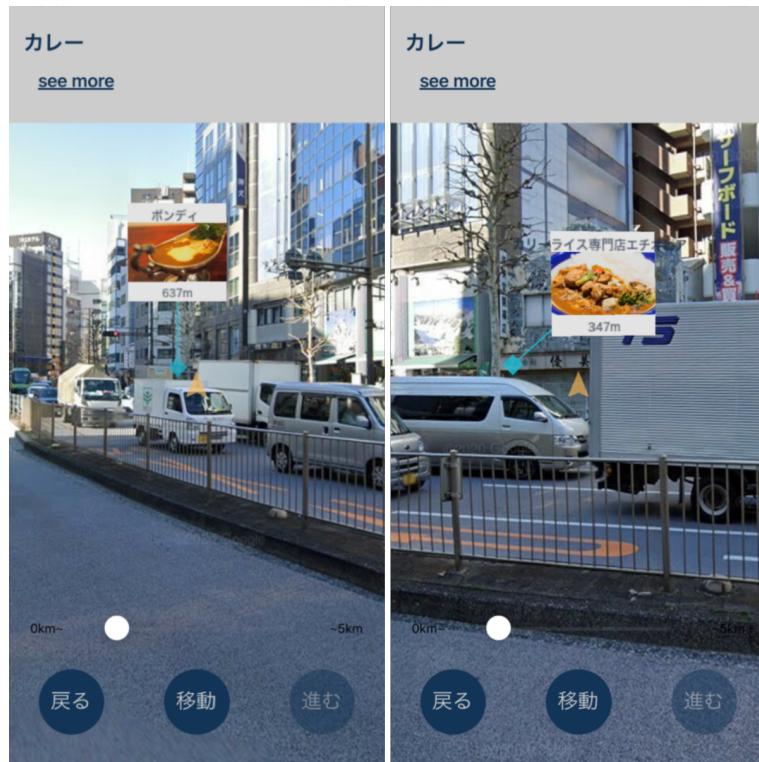


図 5.18: カレーで絞り込みをしている様子

5.2.3 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記載するだけで AR での表示が行えるため、地理情報を多く含む歴史学や地理学の教材として利用するのに適している。

例として京都など史跡が多い地域でのフィールドワークに利用する例が考えられる。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。これにより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事ができる。

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。この機能によって現地に行かなくても関連情報をたどって視点を切り替えながら史跡を見ることができる。

教育現場などでこの視点移動機能を利用すれば、実際の景色や建造物を見ながら史跡や史実の学習をすることができる。

一例として日本史上の事件である、禁門の変について学んでいると仮定した際の例を考える。図 5.19 のように「禁門の変」というページを選択するとこの事件に関連のある場所が表示される。表示された情報を選択すると今度はその場所の情報を見ることができる(図 5.20)。

また AR 情報の編集環境として Wiki システムである Scrapbox を採用しているため先生や学生

が内容を登録したり加筆することも容易である。アクティブラーニングの推進が求められている中、学生が主体的に情報をまとめながら地理的理理解とともに学習を行える本システムは学習体験を大きく向上することができる。



図 5.19: 「禁門の変」を選択した際の様子



図 5.20: 詳細説明を見る様子

5.2.4 リンクを利用した柔軟な参照

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新しい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、図のように登録した場所のリンクを列挙すること表現することができる。Scrapbox 上では単にリンクを並べただけだが、HypAR Touch アプリ側では図 (5.22) のように通るべきポイントが AR で表示されるようになる。

このように登録された場所をリンクで参照しながらページを作るだけで容易にルート表示や場所のリストを作成することが可能である。そのため、以下のような用途で活用することができる。

- 博物館などの順路表示
- 観光地の行く予定のリスト
- 乗り換え案内

簡単なリンクによる参照と例挙だけでそれぞれの用途に合った AR 表示を作成できる点は情報の管理に Wiki を採用した大きな利点である。

The screenshot shows a Scrapbox page with the title "渋谷からSFCに行く(東急+小田急)". Below the title is a blue link bar with the text "渋谷 → 東急田園都市線 → 中央林間駅 → 小田急江ノ島線 → 湘南台駅 → 湘南台駅西口 1番バス乗り場 → 神奈中バス → SFC". To the right of the link bar are three small icons: an info icon, a search icon, and a close icon. Below the link bar is a "Most related" dropdown menu. The main content area contains two rows of cards. The top row has four cards: "Links" (blue background), "中央林間駅" (image of the station entrance), "湘南台駅" (image of the station entrance), and "SFC" (text: "慶應義塾大学 湘南藤沢キャンパス"). The bottom row has two cards: "渋谷" (blue background) and "FabCafe Tokyo" (image of the interior). Each card has a small link icon to its right.

図 5.21: リンクを利用したルートの表記例



図 5.22: SFC までの通過ポイントが表示される

5.2.5　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。

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 によって情報が管理された 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
- ユーザの位置測位及びコンテキスト情報の取得に関する研究
- NFC を用いて情報を取得し、ナビゲーションに応用する研究
- 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

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[4] 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り、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。このシステムは 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を表示する（図 6.1）。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を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。ナビゲーションでの表示やシステム構成などが現在の AR ナビゲーションアプリに通ずる一方で、GPS と磁気センサによる位置測位には精度の面で課題があった。また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、図 6.2 のように装備が大きく、屋外で常用することは現実的でなかった。



図 6.1: 表示されたキャンパスの情報

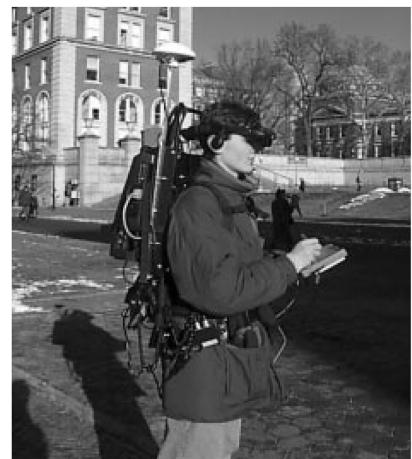


図 6.2: 実際の装備

6.2.2 KARMA

Feiner らが Knowledge-based augmented reality[5] で提案した KARMA はレーザープリンターのメンテナンスを AR で説明するプロトタイプシステムである。図 6.3 のようにヘッドマウント・ディスプレイによってレーザープリンターの内部機構に関する情報を提示し、ユーザがメンテナンスするときの理解を助けるシステムである。位置測位には超音波センサを利用しておらず、正確な位置測位と情報の投影が可能である。一方で高価で大型な超音波センサをすべての対象に取り付ける必要があり、現実的に利用するにはより小型で安価な測位システムを導入する必要があった。



図 6.3: KARMA

6.2.3 MARS

Höllerer らによる MARS[7] は上記の「A Touring Machine」及び「KARMA」の方式を組み合わせ、屋外での AR ナビゲーションと室内での AR による地図操作を結びつけたシステムである。ユーザは屋外でこのシステムを利用し、ヘッドマウントディスプレイを通して建物に重ねて表示

されたナビゲーションを見ることがある(図6.4)。またPC上で作成された経路情報を実際の景色に投影することも可能である(図6.5)。一方で屋内の利用では、ヘッドマウントディスプレイを通して机の平面上に仮想の地図が投影される。この仮想地図はトラックボールや位置センサの搭載されたオブジェクトを利用して操作でき、屋外のユーザが見ている経路情報を編集することができる(図6.6)。このように屋外でのナビゲーションを編集する環境として屋内でのAR環境を利用し、屋内と屋外のARビューに相互作用をもたせる方式はユーザのAR情報編集の体験向上に大きく寄与する。また編集環境の状態がインタラクティブにARでの情報に作用するという点は本研究とも関連がある。



図6.4: ARでの表示

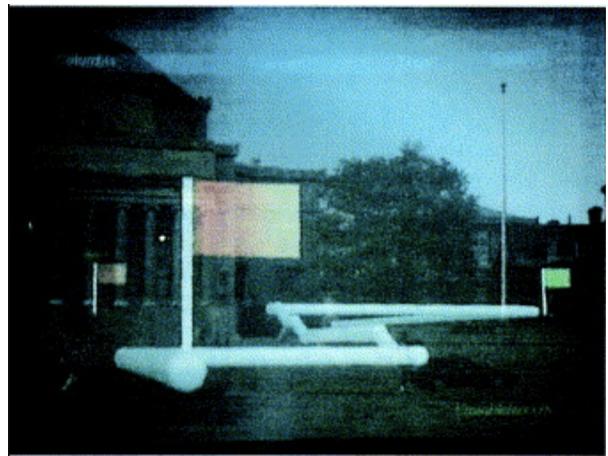


図6.5: 経路の投影

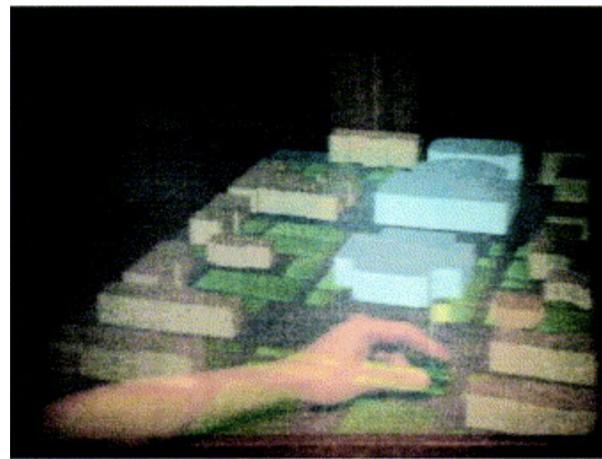


図6.6: 屋内での利用

6.2.4 NaviCam

曇本らによるNaviCam[16]はマーカーをカメラで認識し、マーカー応じてその場に即した説明を手持ちの2Dディスプレイやヘッドマウントディスプレイに提示するシステムである。現在主流になっているマーカーベースのARの初期研究であり、青と赤の線で構成されたカラーコード

と呼ばれるバーコードを認識することで状況と対象物の位置を把握し、情報を提示している。カラーコードの画像認識から AR を表示するこの方式は前述の超音波センサを利用する方式などと比べ圧倒的に低コストであり、カラーコード上での表示は正確である。そのためこの手法は屋内での位置測位に有利であると言える。カラーコードに位置情報以外のコンテキスト情報を埋め込むことが可能である点も既存の測位システムにない特徴であった。

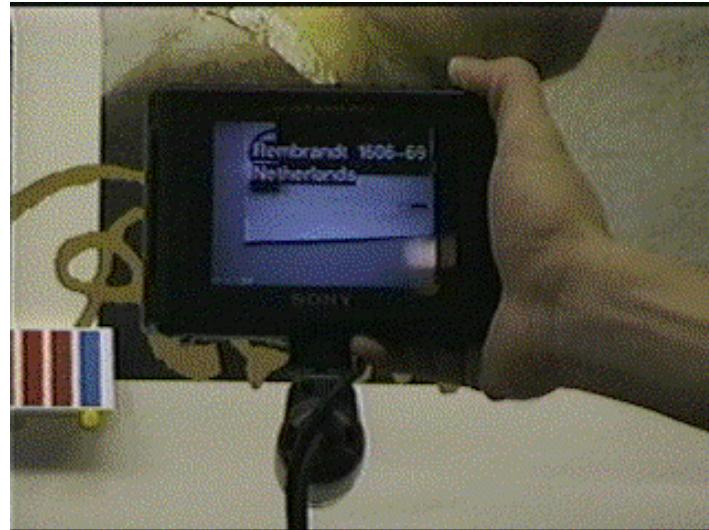


図 6.7: NaviCam

6.2.5 Feature-Based Indoor Navigation Using Augmented Reality

Kasprzak らは Feature-Based Indoor Navigation Using Augmented Reality[10] で室内での利用を想定したモバイル端末向け AR ナビゲーションアプリ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登録された特徴的なアイコン画像を元に画像認識(図 6.8)から位置情報と向きを推定し、ユーザの目的地を矢印で表示する(図 6.9)ものである。またこの研究では作成したプロトタイプを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された画像の検出による位置推定には以下のような課題もある。

- 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
- 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情報を探索する用途は考えられていない。



図 6.8: 特徴量による画像認識



図 6.9: 矢印による案内

6.2.6 Wikitude

Wikitude(図 6.10) 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(Keyhole Markup Language)²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 Google Maps 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 を拡張したファイル形式である。KML ファイルは Google Maps での読み込みや

¹<https://www.wikitude.com/about/>

²<https://developers.google.com/kml/documentation/kmlreference>

作成が可能であり、Wikitude では Google Maps から AR 情報を作成できる。Web 上のツールからユーザが情報を追加でき、AR として反映される点は本研究と関連がある。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。また AR 情報を編集する方法は Google Maps などの地図アプリケーションから作成するか KML ファイルを自身で編集するかに限られており、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

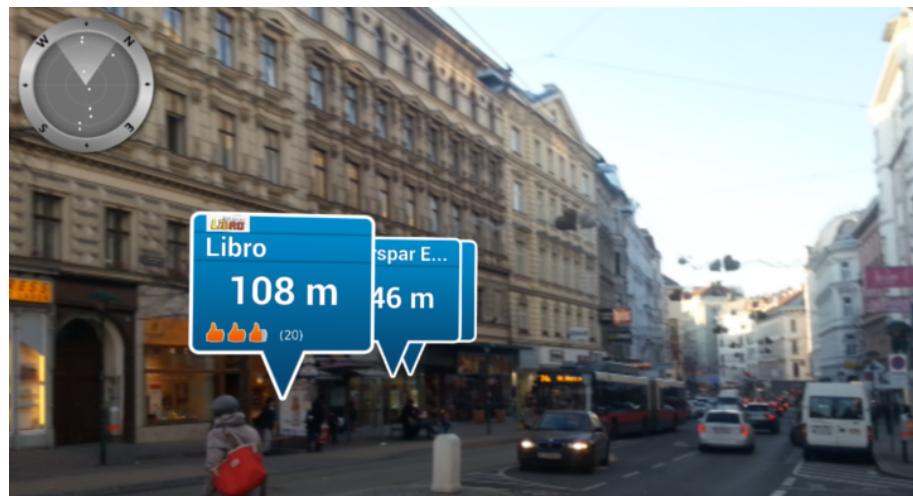


図 6.10: Wikitude

6.3 ユーザの位置測位及びコンテキスト情報の取得に関する研究

前節でも挙げたとおり AR によるナビゲーションではユーザの位置測位やコンテキスト情報の取得に対して様々な方式が検討されている。本節では、前節に挙げた AR ナビゲーションシステムでは検討されなかった位置測位システム及びそれらを比較する研究を紹介する。さらにこれらの測位を複合的に扱いコンテキスト把握につなげるシステムも紹介する。

6.3.1 RSSI based Bluetooth low energy indoor positioning

Jianyong らによる RSSI based Bluetooth low energy indoor positioning[8] では Bluetooth³ Low Energy による位置測位が提案されている。具体的には複数の送信機から送られた Bluetooth の電波の RSSI (Received Signal Strength Indicator : 受信信号強度) を元に位置測位を行うものである。Bluetooth は現在普及しているモバイル端末のほぼ全てが対応する通信形式であり、

³<https://www.bluetooth.com/ja-jp/specifications/>

Bluetooth Low Energy その中でも使用電力の少ない通信規格であるため位置測位に向いている。一方で複雑な形状の空間や遮蔽物がある場所では測位が難しいという難点があり、正確な測位のためには多くのサンプリングが必要になる。また GPS や NFC タグなどと比べると一定範囲ごとに Bluetooth の送信機が必要になりコストが高いというデメリットがある。

6.3.2 Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System

Farid らによる Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System[3] では屋内での位置測位手法の分析が行われている(図 6.11)。この研究では多くの位置測位方式について比較を行っているが、モバイル端末以外に特殊な装置を必要としないことを条件にすると測位方式は GPS、Wifi、Bluetooth の 3 つに絞られる。この研究ではそれぞれに対して位置測位の面で以下のような特徴があるとしている。

- GPS
屋外では利用できるが屋内では利用できず、精度も 6–10m と良いとは言えない。また位置の取得までに多少の時間がかかるという難点があるとしている。
- Wifi
屋内屋外を問わず 1–5m の精度で測位できるが、消費電力が高く設置コストが高いという難点がある。
- Bluetooth
カバーする範囲が狭く屋内での利用に限られるが消費電力が少なく、2–5m の精度で測位ができる。一方で設備コストが高いことが難点である。

このようにモバイル端末で位置測位を行う方式は複数あるが、どれも精度やコストの面で難点がある。一方本研究で提案した NFC タグによる位置測位はユーザが NFC タグにタッチしなくてはならない点を除くと低コストで正確な位置測位が可能である。位置測位以外にも NFC タグにコンテキスト情報の結びつけが行える点やタグにタッチするだけでアプリの起動を行えることを踏まえれば十分に有用な位置測位方式であると言える。

| System | Accuracy | Principles used for localization | Coverage | Power consumption | Cost | Remarks |
|------------|----------|---|---------------------------------|-------------------|--------|---|
| GPS | 6 m–10 m | ToA | Good outdoor Poor indoor | Very high | High | (1) Satellite based Positioning. (2) Processing time and computation is slow. |
| Infrared | 1 m–2 m | Proximity, ToA | Good Indoor | Low | Medium | (1) Short range detection. (2) No invasion of multipath. |
| WiFi | 1 m–5 m | Proximity, ToA, TDoA, RSSI Fingerprinting, and RSSI theoretical propagation model | Building level (outdoor/indoor) | High | Low | (1) Infrastructure available everywhere. (2) Initial deployment is expensive. (3) Multipath susceptible slightly. |
| Ultrasound | 3 cm–1 m | ToA, AoA | Indoor | Low | Medium | (1) Sensitive to environmental. (2) No invasion of multipath. |
| RFID | 1–2 m | Proximity, TOA, RSSI theoretical propagation model | Indoor | Low | Low | (1) Real time location system. (2) Response time is high. (3) Manual programming. |
| Bluetooth | 2 m–5 m | RSSI fingerprinting and RSSI theoretical propagation model | Indoor | Low | High | (1) Data transfer speed is high. (2) Limitation in mobility. |
| ZigBee | 3 m–5 m | RSSI fingerprinting and RSSI theoretical propagation model | Indoor | Low | Low | (1) Low data transmission rate. (2) Nodes are mostly asleep. |
| FM | 2 m–4 m | RSSI fingerprinting | Indoor | Low | Low | (1) Less susceptible to objects. (2) Signal is strong; due to this, it covers large areas. |

cm: centimeters; m: meters.

図 6.11: 屋内での位置測位手法の比較

6.3.3 App Clips

App Clips⁴は Apple⁵が 2020 年に iOS 向けに発表した機能である。App Clips は NFC タグや QR コードの読み込みや位置情報をトリガにして決済、情報提示等を行う仕組みである。専用の NFC タグや QR コードの読み込み、GPS で特定の範囲にいることが検知された場合などに登録された小規模アプリケーションがインストールなしに利用できる(図 6.12)。これは上記のようなユーザの位置測位システムを統合しコンテキスト把握に活かしているシステムと言える。また NFC タグや QR の読み込みからアプリケーションの起動を行う点は本システムと類似している。

⁴https://developer.apple.com/documentation/app_clips

⁵<https://www.apple.com>



図 6.12: App Clips

6.4 NFCを用いて情報を取得し、ナビゲーションに応用する研究

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 Bridging physical and virtual worlds with electronic tags

Want らは Bridging physical and virtual worlds with electronic tags[19] で RFID を利用し実世界とコンピュータ世界の情報を結びつけるシステムを提案している。このシステムでは実世界の文書や図書、カードなどに RFID タグを設置し、これらを専用のリーダーで読み込むことで、関連した情報や URL を推薦したり他のオブジェクトとの関連を示す事ができるようになっている。

AR での表示は行っていないが、本研究同様に NFC タグを利用してコンテキスト情報を取得した上でそれに合わせた内容を推薦するシステムである。この研究から NFC タグの利用が実世界へのコンテキスト情報の埋め込みに有用であると言える。

6.4.2 GoldFish

増井らによる GoldFish[13] は NFC リーダーを搭載した Android 端末で「実世界 GUI」を開発するための JavaScript フレームワークである。Android 端末に搭載された NFC リーダーと加速度センサを利用しており、実世界に設置された NFC タグを読み込み端末を傾けることで任意のプ

ログラムを実行できる。実行するプログラムは Web 上で作成しその URL を GoldFish に登録しているため、ユーザは機能ごとにアプリをインストールする必要がなく汎用性が非常に高い。

GoldFish も本研究同様に NFC タグを実世界コンテキストの取得に利用している研究である。また Web 上にプログラムを配置し汎用性を高めるという手法は、本研究が AR のコンテンツをすべて Wiki で管理しナビゲーションのコンテキストをアプリ側で規定しない点と発想を同じくするものである。

6.4.3 Development of an Indoor Navigation System Using NFC Technology

Ozdenizci らは Development of an Indoor Navigation System Using NFC Technology[15] 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 6.13)

本研究同様、施設内の各所に位置情報の記録された NFC タグを設置し、タグにタッチされたたびにユーザの場所と向きを更新している。また屋内の位置測位に NFC タグを利用する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、これらは本研究で NFC タグによるインタラクションを採用した理由と合致する。一方でユーザへの情報提示が地図とテキストベースである点、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と大きく異なると言える。

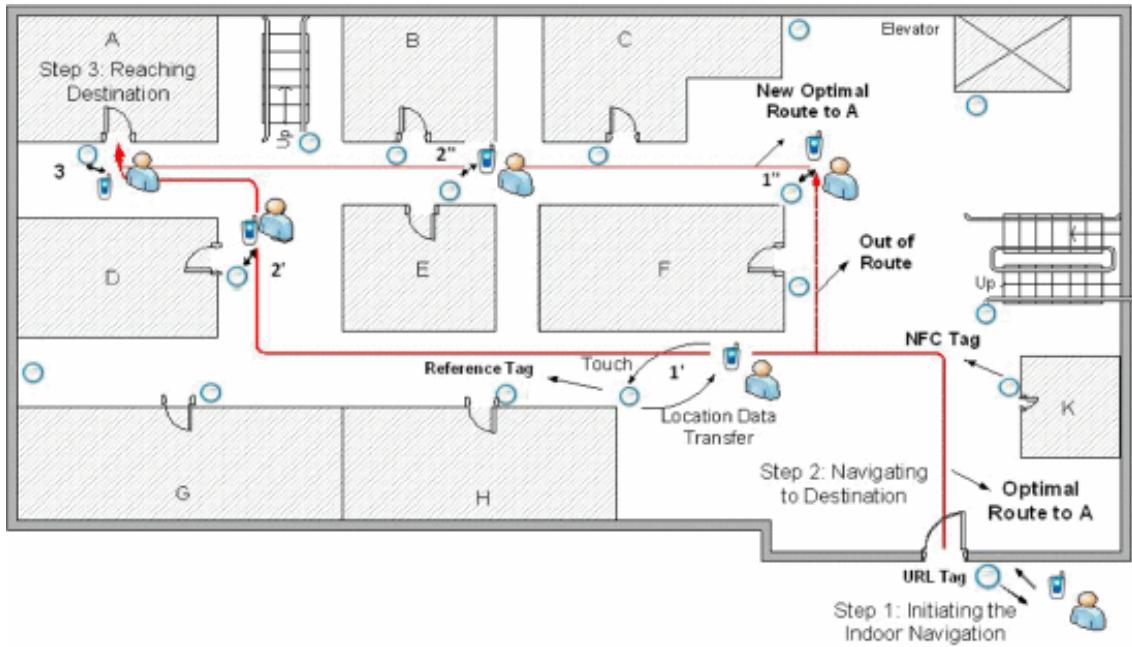


図 6.13: NFC Internal のイメージ

6.5 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。またハイパーリンク情報によって AR と VR をシームレスに統合したシステムについても紹介する。

6.5.1 StAR-Wiki

Koch による StAR-Wiki[11] はユーザが編集可能な Wiki システムをデータベースとして利用し、それらの情報を元に AR を表示するシステムである。StarWiki ではユーザから入力された位置情報、画像、タイトルなどを Wiki に保存し AR 上で閲覧・検索できるインターフェースを提供する。また Wikipedia 同様にカテゴリを作成し、カテゴリタグを利用して表示する AR 情報をフィルタする機能を持っている。さらに登録する情報を親となる情報とそれに関する子情報として階層化し、リンクでつなぐことで管理している。これにより親となる情報で表示する情報を絞り込むことが可能となる。

StAR-Wiki は AR で表示する情報の管理ツールとして Wiki を利用し、ユーザに対し AR 情報の容易な編集機能を提供している点で本研究と類似している。一方で Wiki に登録する情報を 2 階層に分けることで表示の煩雑化を回避している点は、すべての情報をフラットに扱い、リンク情報でフィルタ及び検索をする本研究の手法と大きく異なる。情報の階層化は AR 表示の煩雑化を低減に効果的であるが、分野を横断した情報のつながりを表現できる Wiki 本来の強みを生かした分野横断的で探索的なナビゲーションが行えないと言ったデメリットがある。

6.5.2 VAnnotatoR

Mehler らが提案した VAnnotatoR[14] は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、VR/AR 環境で可視化するフレームワークである。図 6.14 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、AR でそのつながりを可視化する。さらにユーザ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連する資料を整理し、可視化することで歴史の解説に役立てる「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利用して AR で表示する情報を管理し、それ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



図 6.14: VAnnotatoR での AR 表示

6.5.3 WIKIHIKE

WIKIHIKE⁶はキャスタリア株式会社⁷が開発しているソーシャル Wikipedia リーダーである。このアプリケーションは自分専用に Wikipedia の記事を保存し、その記事を他人との共有をする機能を提供する。その中の機能として位置情報のある Wikipedia の記事情報を図 6.15 のように AR で表示するというものがある。この機能では GPS と方位の情報から Wikipedia に位置情報の記載されているページのタイトルを AR で表示しており、タップすることで実際の記事に飛ぶことができる。

WIKIHIKE の AR 機能は、位置情報の記載されている Wiki ページを AR 情報として表示するという点で本研究と類似が見られるが、以下のような点で異なっている。

- Wiki 内のリンク情報を AR 表示で活用していない
- AR 表示から Wikipedia の記事へは移動できるがその逆はできない
- 情報元は Wikipedia でありシステムとして AR 情報の編集機能を有していない

⁶<https://www.castalia.co.jp/wikihike>

⁷<https://www.castalia.co.jp/home>



図 6.15: HyperReal での AR 表示

6.5.4 HyperReal

Romero らによる HyperReal は [17] 仮想現実並びに複合現実におけるハイパーメディアの設計及びその設計に基づいたプロトタイプである。単なる文字でのハイパーリンクだけでなく様々なメディアをリンクし、ユーザの遷移記録を保存・再現する機能を有するなど複雑なハイパーメディアの構築を行っている。またプロトタイプでは博物館の案内アプリケーションを作成しており、AR で大まかな情報提示(図 6.16)を行った上で詳細を仮想空間で補足する(図 6.17)のようなインターフェースを備えている。このアイデアは本研究における AR 情報付近へのワープ機能と類似が見られる。一方で本研究のように AR で提示する情報の編集環境などには重点を置いておらず、あくまでも時間などを含めた複雑なハイパーメディアの構築に主眼をおいた研究である。

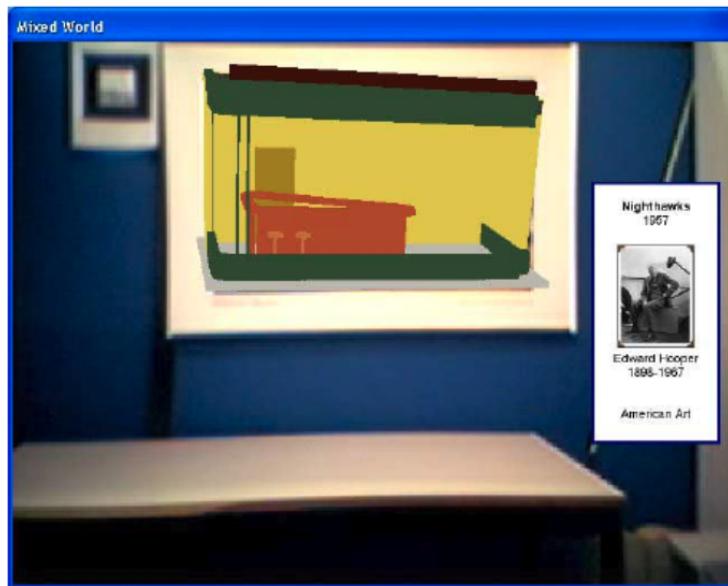


図 6.16: HyperReal での AR 表示

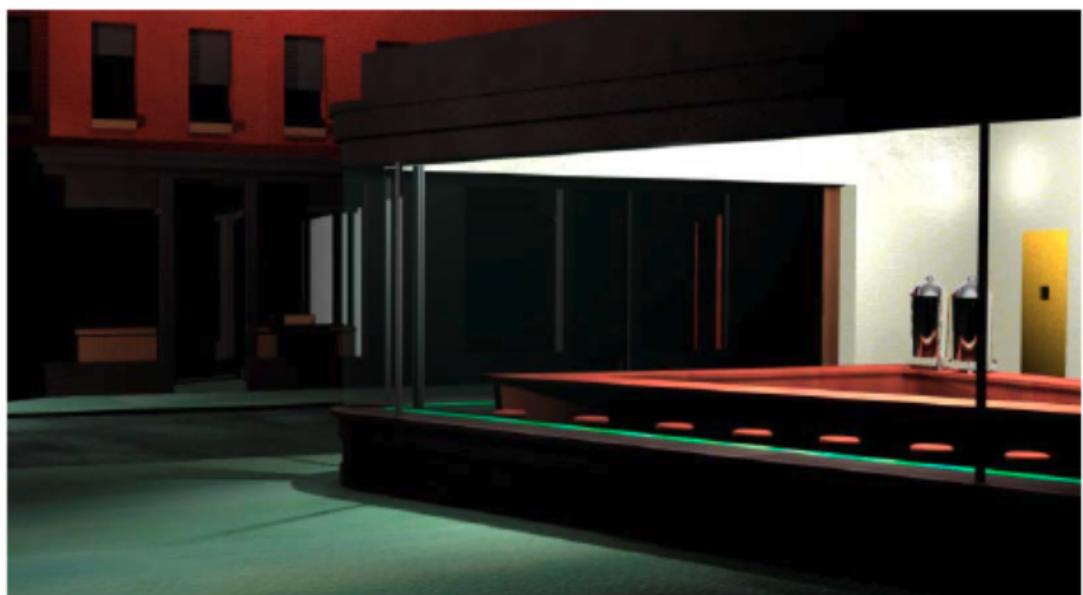


図 6.17: HyperReal での VR 表示

6.5.5 Annotation authoring in collaborative 3D virtual environments

小林らによる Annotation authoring in collaborative 3D virtual environments[9] では、Kay らが主導した仮想 OS プロジェクト Croquet[18] でを拡張したアノテーションシステムを提案している。具体的には以下のような機能をもつ注釈システムを提案している。

- 特定のシーン内に注釈をつけそれらをあらゆるシーンから参照できるようにする

- 追加された注釈をオブジェクトとして空間上に配置しまとめることができる
- 注釈をフィルタするためのシステム「Interactor」を作成
- 注釈の変化を可視化する

これらの機能のうち、追加された注釈をオブジェクトとして空間上に配置しまとめることができる点は第 5.2.4 節の「リンクを利用した柔軟な記法」と類似が見られる。また表示する情報のフィルタは本研究においても考慮すべき課題の 1 つである。一方で本研究では注釈という概念が存在せず、AR/VR で表示する情報とその他の Wiki ページを等価に扱ったリンク構造を採用しており、この研究とは大きく異なると言える。

6.5.6 MagicBook

Billinghurst らによる MagicBook[1] は AR/VR 間のシームレスな移行を可能にするシステムのプロトタイプである。Magicbook では実際の本を利用し、本にマーカーを埋め込むことでヘッドマウントディスプレイでの AR 表示を提供する。さらに AR で表示された状態でハンドルのスイッチを押すとシームレスに VR に移行し、自由に仮想空間を移動することが可能になる(図 6.18)。

MagicBook の AR から VR へとシームレスに切り替えることでより詳細な情報を表示するという考えは本システムの移動機能に類似点が見られる。一方で、本研究での移動はあくまでも場所から場所への移動による探索を主眼としているに対し、MagicBook は 1 つの AR 情報を更に細く補足する形で VR を展開しているという点で用途が異なる。

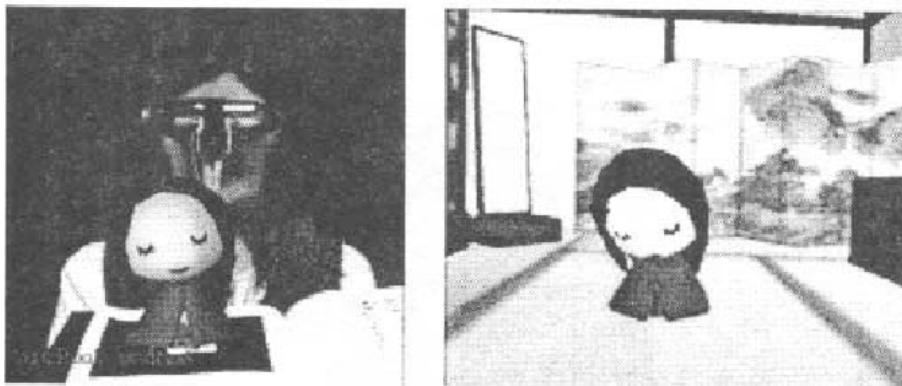


図 6.18: MagicBook での AR (左) と VR (右)

6.6 その他関連研究

6.6.1 Hycon

Hansen らによる Hycon[2] は位置情報や RFID タグ・Bluetooth タグの設置された実世界のオブジェクトと地図、Web ページ、およびその他のリソースを関連付けて管理するフレームワークである。Hycon では実世界のオブジェクトと既存の HyperMedia を統合するため、関連するセ

ンサーをカプセル化するセンサー層のインターフェイスを定義し、メタデータ記述の形式である RDF 標準に基づいたハイパーテディアを作成している。また Hansen らは Integrating the Web and the World: Contextual Trails on the Move[6] で Hycon を利用し、ユーザーが作成した注釈、リンク、ナビゲーションを統合するためのデータ構造を定義している。さらにこのデータを活用することで注釈とリンク情報が付与された地理的パスを表現するプロトタイプを SVG を利用して作成している。

Hycon は以下の点で本研究と類似が見られる

- 実世界と情報空間を RFID などのセンサと位置情報で紐付けるシステムである点
- ハイパーリンクを含むハイパーテディアによってナビゲーションを表現している点

また Hycon で提案されている地理情報ベースでの検索推薦システムは本研究に活かせる可能性がある。一方で Hycon はリンクを埋め込み可能な SVG を利用することで、ハイパーテディアと統合された 2 次元でのナビゲーションを提案している。この点は、AR でのハイパーリンクの表現およびそれを利用したナビゲーションを目的とした本研究と方向性が異なると言える。

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 年後半から開発を行っており、ORF2019¹にて展示発表を行った。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研究会で共有したり、実際にユーザに使ってもらうことで意見を集めた。本節ではユーザ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 を利用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を追加する際のフォーマットが決まっている事が多く、一般ユーザ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 にページを作り、Google Maps の URL を貼るだけで AR 情報を追加できるため、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 で表示できるという拡張性および互換性も評価された。

NFC タグのタッチによる起動 既存の AR ナビゲーションシステムとしてマーカーベースの AR を利用した人は多かったが、マーカーベースの AR に比べ起動が一瞬で行われ、マーカーを読み込まなくても AR が表示できる簡易さが評価された。このような特徴から、災害時などに避難経路や避難所の情報を出すことができれば、皆が焦らずに迅速に情報を見ることができるのでないかと言う意見が寄せられた。

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 5 章で述べたとおり、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・ラベル等のページを分類して管理するための機能が存在しない。そのため全ての 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、特に分類が必要であると感じることはなかった。既存のナビゲーションではジャンルを細かく分けることで、検索性能を上げることが行われてきたが、管理に特別気を配らなくてもリンク情報の提示があれば目的地の場所を参照できることがわかった。

¹<https://orf.sfc.keio.ac.jp/2019/>

目的地に案内するだけではない探索性 既存のナビゲーションシステムは「目的地に案内すること」を重視している物が多く、目的地の探し方もユーザの入力した単語にマッチするものを提示するという物である。一方で本システムはリンク情報から AR で表示される情報の間を探索していくことができる。この事により自分が思ってもみない情報にたどり着く事が増えたように感じる。例として、周辺のお店に多くリンクされている単語からその地域の名産を知ったり、路線名でのリンクから登録した 2 つの場所同士が電車ですぐの距離であることを発見したりといった事が起きた。このような探索性は既存のナビゲーションシステムにはない特徴である。

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. 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ため、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に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見た目が煩雑になり混乱す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 ナビゲーションシステム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物しか表示されないため二次リンク

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、表示する二次リンクをフィルター/推薦するシステムが必要である。一例としてリンク構造を分析した上で接続の多いノードだけにフィルタしたり、閲覧履歴からユーザに合わせた二次リンクを推薦したりといった方法が考えられる。

2. 登録情報が増えたときに情報が見にくくなる

現在はユーザのいる場所から一定距離以内の情報だけが最初に表示され、スライダによってその表示範囲を変えられるようになっている。しかしながら登録される情報量は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以下のようない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がかかるようにする。
- ユーザ付近の情報を解析し、ナビゲーション時にフィルタ条件を推薦する。
- ユーザの個人情報や履歴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フェクションが面倒
NFCタグを利用して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、WikiページとARで表示する情報を対応させることで誰もが容易に登録・編集可能である。
- 関連情報を参照・管理することができていない
AR上でハイパーリンクを表示することにより関連情報を参照・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分野を問わない情報管理システムにより高い汎用性を実現したと言える。

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、満たすべき要件を定めた。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」の設計について述べた。

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

第 5 章では、「HypAR Touch」を実際に利用した様子と今後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] Mark Billinghurst, Hirokazu Kato, and Ivan Poupyrev. MagicBook: Transitioning between reality and virtuality. In *CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '01, pp. 25 – 26, New York, NY, USA, 2001. Association for Computing Machinery.
- [2] Niels Olof Bouvin, Bent G. Christensen, Kaj Grønbæk, and Frank Allan Hansen. Hycon: A framework for context-aware mobile hypermedia. *Hypermedia*, Vol. 9, No. 1, pp. 59 – 88, January 2003.
- [3] Zahid Farid, Rosdiadee Nordin, and Mahamod Ismail. Recent advances in wireless indoor localization techniques and system. *Journal of Computer Networks and Communications*, Vol. 2013, , September 2013.
- [4] 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.
- [5] Steven Feiner, Blair Macintyre, and Dorée Seligmann. Knowledge-based augmented reality. *Communnications of the ACM*, Vol. 36, No. 7, pp. 53 – 62, July 1993.
- [6] Frank Allan Hansen, Niels Olof Bouvin, Bent G. Christensen, Kaj Grønbæk, Torben Bach Pedersen, and Jevgenij Gagach. Integrating the web and the world: Contextual trails on the move. In *Proceedings of the Fifteenth ACM Conference on Hypertext and Hypermedia*, HYPERTEXT '04, pp. 98 – 107, New York, NY, USA, 2004. Association for Computing Machinery.
- [7] Tobias Höllerer, Steven Feiner, Tachio Terauchi, Gus Rashid, and Drexel Hallaway. Exploring MARS: developing indoor and outdoor user interfaces to a mobile augmented reality system. *Computers & Graphics*, Vol. 23, No. 6, pp. 779 – 785, 1999.
- [8] Z. Jianyong, L. Haiyong, C. Zili, and L. Zhaojun. RSSI based bluetooth low energy indoor positioning. In *2014 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, pp. 526 – 533, 2014.
- [9] Rieko Kadobayashi, Julian Lombardi, Mark P. McCahill, Howard Stearns, Katsumi Tanaka, and Alan Kay. Annotation authoring in collaborative 3D virtual environments. In *Pro-*

- ceedings of the 2005 International Conference on Augmented Tele-Existence*, ICAT '05, pp. 255 – 256, New York, NY, USA, 2005. Association for Computing Machinery.
- [10] 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.
 - [11] S. Koch. StAR-Wiki : An augmented reality wiki. Master's thesis, University of St Andrews, January 2014.
 - [12] Bo Leuf and Ward Cunningham. *The Wiki Way: Quick Collaboration on the Web*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., USA, 2001.
 - [13] Toshiyuki Masui and Sho Hashimoto. Goldfish: Real-World GUI framework for Android. In *SIGGRAPH Asia 2012 Symposium on Apps*, SA '12, New York, NY, USA, 2012. Association for Computing Machinery.
 - [14] Alexander Mehler, Giuseppe Abrami, Christian Spiekermann, and Matthias Jostock. Vannotator: A framework for generating multimodal hypertexts. In *Proceedings of the 29th on Hypertext and Social Media*, HT '18, pp. 150 – 154, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
 - [15] 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.
 - [16] Jun Rekimoto and Katashi Nagao. The world through the computer: Computer augmented interaction with real world environments. In *Proceedings of the 8th Annual ACM Symposium on User Interface and Software Technology*, UIST '95, pp. 29 – 36, New York, NY, USA, 1995. Association for Computing Machinery.
 - [17] Luis Romero and Nuno Correia. HyperReal: A hypermedia model for mixed reality. In *Proceedings of the Fourteenth ACM Conference on Hypertext and Hypermedia*, HYPERTEXT '03, pp. 2 – 9, New York, NY, USA, 2003. Association for Computing Machinery.
 - [18] David A. Smith, Andreas Raab, David P. Reed, and Alan Kay. Croquet: A menagerie of new user interfaces. In *Proceedings of the Second International Conference on Creating, Connecting and Collaborating through Computing*, pp. 4 – 11, USA, 2004. IEEE Computer Society.
 - [19] Roy Want, Kenneth P. Fishkin, Anuj Gujar, and Beverly L. Harrison. Bridging physical and virtual worlds with electronic tags. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '99, pp. 370 – 377, New York, NY, USA, 1999. Association for Computing Machinery.

- [20] 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, pp. 43 – 50. 情報処理学会, January 2011.