

Title	拡張現実感を用いた情報機器管理システムの提案
Sub Title	An information equipment management system using augmented reality
Author	國友, 美希(Kunitomo, Miki) 加藤, 朗(Kato, Akira)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2014
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2014年度メディアデザイン学 第390号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002014-0390

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文 2014年度（平成26年度）

拡張現実感を用いた情報機器管理システムの
提案

慶應義塾大学大学院
メディアデザイン研究科

國友 美希

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に
修士(メディアデザイン学)授与の要件として提出した修士論文である。

國友 美希

審査委員：

加藤 朗 教授 (主査)

南澤 孝太 准教授 (副査)

石戸 奈々子 准教授 (副査)

修士論文 2014年度（平成26年度）

拡張現実感を用いた情報機器管理システムの提案

カテゴリー：サイエンス / エンジニアリング

論文要旨

インターネットは生活に欠かす事が出来ないデジタル情報基盤となっており、そのサービスは非常に多くのサーバやスイッチ、ルータ等の情報機器によって提供されている。顧客の情報機器を預かるデータセンタでは、これらの機器の管理は重要な課題である。

本論文では、拡張現実感 (AR) 技術を用いて情報機器管理に必要な情報を動的かつ、視覚的に提示することにより、情報機器管理を容易にするシステムを提案する。対象の情報機器の映像に対して管理に必要な情報をオブジェクトとテキストとして重畳する事により作業効率の向上と作業中の不安感を軽減出来ると考えられる。情報機器管理における本方式の有効性を確認するため、ヒアリング調査をもとに本システムのプロトタイプを設計・実装し、評価実験を行なった。情報提示の詳細や表示方法に改良を加える事によって、将来の情報機器管理に寄与する事が期待される。

キーワード：

拡張現実感，情報機器管理，可視化，運用保守，ネットワーク

慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科

國友 美希

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2014

An Information Equipment Management System using
Augmented Reality

Category: Science / Engineering

Summary

The Internet is indispensable information infrastructure in life. The service is provided by a large number of equipments including servers, switches, and routers. Most of such equipments are in a number of data centers and management of customers' equipments is a serious issue. This thesis suggests an information equipment management system using augmented reality (AR) technology.

This system dynamically presents the necessary information in a simple object and a text superimposed to an image of a target equipment, thus simplifies the management task. It may improve the work efficiency and reduced the anxiety. In order to confirm effectiveness of the system, a prototype was implemented, and an evaluation experiment was performed.

It is expected that this system contributes the future equipment management, though the details and the displaying method of the information should be improved.

Keywords:

Augmented Reality , Information Equipment Management , Visualization , Operation and Maintenance , Network

Graduate School of Media Design, Keio University

Miki Kunitomo

目 次

第 1 章 序論	1
第 2 章 サーバ管理の現状調査	3
2.1. 対象とする機器	3
2.2. 情報機器特有の要求要件	4
2.3. 従来の管理手法	6
2.4. 情報機器管理の現状	8
2.4.1 フィールドワーク調査	10
2.5. 作業上の問題点	12
2.6. 機器が発するアラーム	13
2.7. 仮想環境における必要要件の変化	13
2.8. 情報機器管理における要求要件のまとめ	14
第 3 章 関連研究	16
3.1. 機材判別に関する関連研究	16
3.2. 拡張現実感	17
3.2.1 マーカ型 AR の事例	19
3.2.2 マーカレス型 AR の事例	22
3.3. 情報表示に関する関連研究	22
3.4. 作業支援システムの関連研究	25
3.4.1 バーコードの事例	25
3.4.2 QR コードの事例	25
3.4.3 AR マーカの事例	26
3.5. 関連研究のまとめ	28

3.6.	本研究の目的	29
第4章	情報機器管理システムの提案	30
4.1.	理想の情報機器管理	30
4.2.	ヒアリング調査	31
4.3.	ARを利用した情報機器管理システムの提案	35
4.3.1	システム概要	35
4.3.2	ローカル環境での情報提示	36
4.3.3	リモート環境での情報提示	37
4.4.	設計要件	38
第5章	ARを用いた情報機器管理システムの設計	40
5.1.	情報表示に関する設計	40
5.1.1	現場作業における情報提示	40
5.1.2	リモートハンドにおける情報提示	43
5.2.	プロトタイプの実装	44
5.2.1	情報表示	44
5.2.2	ARマーカ	46
5.3.	プロトタイプを用いた予備実験	49
5.3.1	実験概要	49
5.3.2	実験結果	49
5.3.3	考察	50
5.4.	プロトタイプを用いた使用感に関する予備調査	51
第6章	ARを用いた情報機器管理システムの実装	52
6.1.	システム構成	52
6.2.	開発環境	53
6.3.	データベース	54
6.4.	可視化手法	54
6.5.	実装結果	56

第7章	ARを用いた情報機器管理に関する可視化手法の評価	57
7.1.	機能評価	57
7.1.1	概要	57
7.1.2	情報の可視化	58
7.1.3	情報更新	59
7.1.4	物理情報と仮想情報の一致	60
7.1.5	機能評価における考察	60
7.2.	ユーザ評価実験 A:初心者と中級者による比較	61
7.2.1	概要	61
7.2.2	評価項目	62
7.2.3	実験環境	63
7.2.4	評価実験手順	64
7.2.5	結果	64
7.2.6	考察	66
7.2.7	評価実験 A まとめ	67
7.3.	実験 B:初心者による従来方式と本システム方式の比較	67
7.3.1	概要	67
7.3.2	実験環境	68
7.3.3	評価実験手順	69
7.3.4	結果	70
7.3.5	考察	72
7.3.6	評価実験 B まとめ	74
第8章	結論	76
8.1.	結論	76
8.2.	今後の課題	77
	謝辞	79
	参考文献	81

付録	84
A. 予備実験に使用した AR マーカー一覧	84
B. データベーススキーマ	85

目 次

2.1	サーバールームの様子	4
2.2	サーバラックにマウントされている機材	5
2.3	サーバラック内にある情報機器の電源	6
2.4	タグやシールを使用した機材管理の様子	7
2.5	ケーブルに貼付されたタグ	7
2.6	情報機器に貼付されたタグ	8
2.7	機材所有者に連絡をとる様子	10
2.8	エラー提示され、ビープ音が鳴る機材	13
3.1	セカイカメラ	18
3.2	AR マーカの基本	19
3.3	CyberCode 応用事例	20
3.4	ARToolKit	21
3.5	ReacTIVision の構成	22
3.6	reavtable	22
3.7	iPad	23
3.8	Nexus 9	23
3.9	Google Glass	24
3.10	Oculus Rift	24
3.11	SmartAsset システムイメージ図	25
3.12	Smart Field Service システムイメージ図	27
3.13	VistaFinder Mx システムイメージ図	27
3.14	作業の様子	28
3.15	情報表示画面	28

4.1	エラーが発生している機材	34
4.2	トラブルシューティングに関する作業の様子	35
5.1	AR マーカ認識時の画面イメージ (正常時)	41
5.2	交換する HDD の表示画面イメージ	41
5.3	画面に表示されるツールアイコンのイメージ	41
5.4	エラー発生時のアイコンのイメージ	41
5.5	Alert , Warning 検出時の情報表示画面	42
5.6	詳細情報表示画面のイメージ	42
5.7	ノート機能を利用した際の表示画面イメージ	43
5.8	リモートハンドの際の表示画面イメージ	44
5.9	遠隔地側の画面イメージ	44
5.10	情報提示画面	45
5.11	近接する AR マーカ	45
5.12	誤認識しやすい AR マーカ例	46
5.13	四分割にした白領域	47
5.14	誤認識防止のための AR マーカ配置例	47
5.15	下 1 桁が同じ AR マーカ	48
5.16	AR マーカを貼付した情報機器	49
5.17	プロトタイプ実験の様子	50
5.18	KMD Forum での展示の様子	51
5.19	WIDE 研究会でのポスター発表の様子	51
6.1	システム構成図	53
6.2	Vuforia システム構成図	54
6.3	正常な画面	55
6.4	エラー発生時の画面	55
6.5	権限を持たない場合の画面	56
6.6	権限を持っている場合の画面	56
6.7	KMD フォーラム・デモ展示の様子	56

7.1	作業の様子	61
7.2	提案方式での表示画面	62
7.3	実験に使用した情報機器の一部	63
7.4	評価実験 A 結果	64
7.5	HDD に目印が重畳されている様子	68
7.6	従来方式での作業風景	69
7.7	提案システム方式での作業風景	69
7.8	従来方式の各作業時間と正解率	71
7.9	提案システム方式の各作業時間と正解率	71
7.10	従来方式と提案方式の作業時間に関する散布図	72
8.1	AR マーカー一覧	84

表 目 次

2.1	現状の機材管理が抱える課題点	14
3.1	各種マーカの比較	17
3.2	表示端末の特質	24
4.1	情報機器管理者のレベル分け	32
4.2	情報機器に関する情報の分類	33
4.3	情報機器管理における作業用途	34
5.1	ID の文字の配置	48
7.1	AR マーカの読み取り時間	59
8.1	テーブル user_info の構造	85
8.2	テーブル MGST の構造	85

第1章 序

論

コンピュータの小型化・軽量化により，誰でも簡単に高機能情報端末を持ち歩くことが可能となり，人々は多くの情報を取得することが可能となった．その一方で，ネットワークにおけるインフラ環境は従来の物理的インフラ環境から，仮想的インフラ環境へと変化しつつあり，一つの情報機器に関連する情報は質・量ともに増加傾向にある．そのため，多くの情報を必要とするにも関わらず，情報を円滑に取得することが難しい場合がある．その一例として，データセンターやサーバールーム等にみられる情報機器管理が挙げられる．

従来の情報機器管理の現場において，サーバールーム管理者と情報機器所有者が必ずしも同一であるとは限らない．そのため，従来のサーバールームでは，機材所有者氏名や連絡先等の最低限の情報を共有するために，主にシールやタグを使用して管理を行っていた．しかし，シールやタグを使用した情報提示方法では情報変更がなされない場合もある．データセンタ等は誰でも簡単に出入りすることは難しく，物理的なエラー対処等の用事が発生しない限りは，ほとんど機材のある場所に推しを運ぶことはない．そのため，情報更新の際に手間がかかり，情報機器管理者の負担になり，作業効率化が難しい現状にある．その上，データセンタの特質上，基本的には写真撮影やテレビ電話等が禁止であり，遠隔地にいる機材所有者は記憶をもと作業従事者に指示出しを行なう．その場合，抽象的な言葉での指示出しでは困難となる．更に近年では仮想化技術の一般化により，一台の情報機器に関する情報量は膨大かつ複雑化しており，既存の管理手法での管理が難しい状況にある．

本研究では，AR 技術を応用した情報機器管理システムの提案を行う．情報機器管理を行う上で発生する間接的な情報伝達等によるミス，情報の更新履歴の不透

明性，機材管理における操作ミス等の問題を解決し，情報機器管理における作業効率化に貢献することを目的としている．本システムによって情報機器に関連する様々な種類の情報を重畳することによって，知識補完を行なう．その際，機材の識別には AR マーカを用い，ネットワーク上にある管理データベースから最新の情報を取得を行ない，正確な情報の表示を可能にする．また，ユーザの実務経験やスキル，作業用途に応じて必要な情報は変動することがフィールドワークやヒアリング調査を通して，分かった．そのため，作業を行なう作業従事者のユーザの権限レベルに応じて情報選別し，各情報に優先順位をつけて表示する．本方式は代理作業や実務経験が浅い情報機器管理者の作業の不安感を無くし，作業効率を向上させる可能性がある．将来的には，サーバラックに内包する情報機器の検索や，読み取り位置に応じた情報の提示を行い，情報機器の位置特定や，エラーが発生している機材の検知を可能にし，円滑な情報機器管理を可能にする．また，リモートハンド等に代表されえる遠隔作業支援の場合，現在ではテレビ電話や写真撮影が禁止されている．映り込んではいけない映像や機材に対してモザイク等の加工をかけ．個人情報や企業の機密情報の映り込みに関する問題を解決することによって，データセンタにおけるテレビ電話や写真撮影を用いたリモートハンド作業の実現に寄与する可能性もある．

上記の提案に基づき，データベースから動的に取得した情報を映像上に重畳してユーザが表示することができるシステムのプロトタイプ的设计および実装を行った．また，本方式が情報機器管理の作業円滑化に貢献することが可能か確認するため，機能評価と評価実験を行った．その結果をもとに機材管理における本システムの有用性を確認する．最後に本稿のまとめと今後の課題，更に本システムの今後の方向性について述べる．

第2章

サーバ管理の現状調査

本研究は、情報機材に内包する情報を可視化し、直感的な情報取得を可能にする事によって、機材管理に必要な作業の円滑化を目的としている。本章では、データセンタでの情報機器管理における現状について解説する。その上で、従来の情報機材管理の抱える物理的問題点と仮想的問題点について述べる。

2.1. 対象とする機器

機材管理の現場において、機材所有者と機材管理者が必ずしも同一であるとは限らない。機材はメーカーや機材のシリーズによっては類似したデザインである事が多い上に、同一の機材を何台も所有する場合もあり、瞬時に機材の判別を行なう事は難しい。共同で機材管理を行なう場合も、同様の理由時自分の管理する機材と他者が所有している機材を瞬時に判別する事は困難である。更に、機材に関する情報はハードに関する情報はもちろん、機材に内包しているソフトウェアに関する情報は、ハード面を見ただけでは把握できない。上記の問題を抱えている現場のひとつとして、データセンタ等の情報機器管理が挙げられる。

ある空間に存在する機材が全て単一の管理に属している場合にはあまり問題にはならないが、複数の管理ドメインに属す機材が混在している環境では、各機材に対して正しい表示をすることは重要である。機材の入れ替えや保守などの場面では、これらの情報が正確でない場合、誤った機材に対して保守作業を実行し、それに先立ってシャットダウンすることにより、運用中のサービスを止めてしまうような事故が発生する。そのために適切な情報共有は重要なファクタである。

本研究では、サーバを始めとした、ハブ、スイッチ、ルータ、ファイアウォール等の情報機器を対象とし、これらの機器管理に関する問題点を示唆する。

このような情報機器は空調、電源、騒音等の問題により、人の出入りが多い部屋に置かれることは少ない。そのため、学校や企業は図 2.1 のようなサーバールーム等に情報機器を収納することが一般的である [1]。また機材の収納効率を高めるため、企業に置かれる様なデスク PC ではなく図 2.2 のようにラックに設置し、運用される事が多い。なお、今回データセンターに代表されるネットワーク機器の管理を対象とするため、インターネットに接続されていない機器は対象外とする。



図 2.1: サーバルームの様子
(協生館内で撮影。以下図 2.8 まで同様)

2.2. 情報機器特有の要求要件

様々な機材を管理する上で、いくつか必要要件が存在する。まず、所有する機材の所在地の確認である。機材管理を行なう上で、機材の購入年度や機材の所在地に関する情報の把握を行なう必要がある。機材の場所を把握し、機材の状態を把握する事は必須である。

しかし、通常の機材管理の方法に加え、情報機器を管理する場合には特殊な問題がいくつか存在する。まず、機材に内包する情報が動的である点である。ネットワークに繋がっていない機材は、内包する情報の動的な移動を確認することは

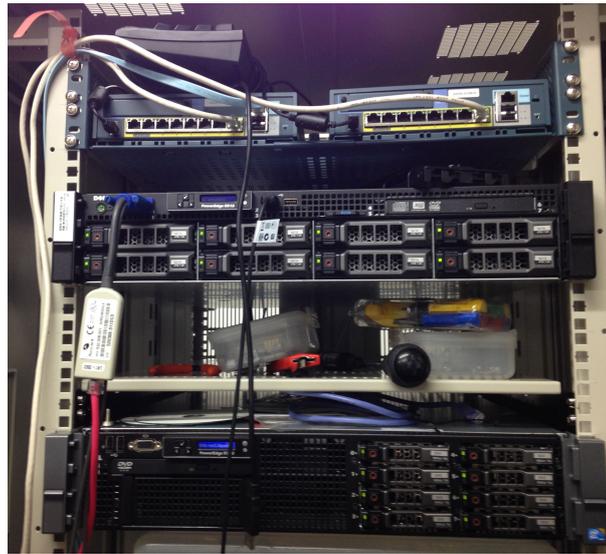


図 2.2: サーバラックにマウントされている機材

ほとんどない。しかし，サーバ，スイッチ，ルータ，ハブ等の情報機器に関しては，ネットワークと繋がってるため，内包する情報が動的に変更される場合がある。そのため，サーバ等は物理的な機材の所在確認を行なう事は可能であるが，内包する情報に関しては，目視での確認は難しい。

次に，情報機材の情報量が膨大かつ複雑化しているという点である。ひとつの情報機器にまつわる情報は様々な情報がある。機材所有者に関する情報や，ハードウェアに関する情報や，ソフトウェアに関する情報等の情報機器本体の情報，そして情報機器の外部環境にまつわる情報等がある。ソフトウェアに関する情報を管理するソフトや物品管理にまつわるソフトは多く存在し，それらの情報は専用のソフトを使用して確認を行なうことが出来る。また，機材本体の情報を確認する場合はコンソールを用いて情報取得が可能である。しかし，電源系統や電圧等の物理的情報や，ネットワークケーブルに関する情報は文書化されていない場合があり，現地での作業を行なうたびに確認しなければならないこともある(図 2.3)。

バーコードやQRコード等を使用した情報機器管理システム [2] も存在する。しかし，既存のシステムで電子化が可能な情報には制限があり，全ての情報を一括して情報を提示するシステムは存在しない。



図 2.3: サーバラック内にある情報機器の電源

2.3. 従来の管理手法

従来、サーバールームの情報機器管理は概ね一対一に対応していたため、直感的に作業を行う事が可能であった。情報機器管理を行なう際、図 2.4 の様に機材にタグの設置、あるいはバーコードやラベルを貼付して管理されることが一般的である。しかし、これらの管理方法では、情報変更の煩雑さにより、最新の情報に保つ事が難しい。

情報機材に貼付されているタグやシールには機材管理者氏名、機材管理者の連絡先等が記入されている事が多い。基本的には機材の導入の際にタグやシールが貼付されるが、その後機材管理者に関する情報はしばしば変動する場合がある。例えば、機材管理者の部署の移動や、連絡先の変更等である。その場合、タグの情報を逐一変更しなければならないが、その度にサーバールームに足を運び、タグやラベル等を直接変更する必要があるが、セキュリティ上の問題でサーバールームに足を運ぶ事は容易ではない。特に遠隔で管理を行っている場合などは、シールの更新は必ずしも簡単な作業ではない。また、図 2.5 のようなタグが貼付されたネットワークケーブルは、貼付されているシール等を更新せずに、他の目的に流用する場合も存在する。そのため、表示されている情報は必ずしも正しくない可能性がある。



図 2.4: タグやシールを使用した機材管理の様子



図 2.5: ケーブルに貼付されたタグ

また、表示されている情報が正しい情報に変更されていない場合、トラブル発生時に運用中のシステムに誤って操作してしまう事故を誘発する要因となる。サーバルームの管理者が機材管理者に対して、迅速に連絡を取ることができなくなる。

さらに、最近の 1U サーバなどの省空間型の機材では、シール等を貼付できる部分が限られている。図 2.6 のようにタグは運用上邪魔になることもあり、吸気口との干渉で障害が発生することもある。



図 2.6: 情報機器に貼付されたタグ

2.4. 情報機器管理の現状

今回情報機器管理の現状を把握するため、2014年3月10～13日に開催された WIDE プロジェクト主催の春合宿研究会¹、2014年3月14、15日に開催された情

¹WIDEProject <http://www.wide.ad.jp/news/press/20140314-bestposteraward-j.html>

報処理学会 ユビキタスコンピューティングシステム研究会²にてヒアリング調査を行なった。更に機材経験者数人にインタビュー調査を行なった。

ヒアリング調査やインタビューの意見を整理すると、情報機器管理におけるトラブルの原因は3種類に分類出来た。ハードウェアに関するトラブルに対しては、機材本体を確認する事が出来ればトラブルを解決する事は難しくない。故障等機材本体にエラーが発生した場合には、LEDが点滅させる機能を持った機材も一般的になりつつある。また、近年のハードウェアは瞬時にエラー対処を行なわずとも機材を動かす事が可能な冗長性のある機材も登場している。ソフトウェアに関する問題はハードウェアの様にエラーが可視化されないため、情報機器自体を確認しても見た目では問題を確認することは不可能である。例えば問題が発生した際に、ソフトウェアの原因はOSの問題であるのか、あるいはサービスプロセスに問題が発生しているのか、特定することは容易ではない。そのため、サービスの監視が必要である。pingや空メールを定期的に送り、その反応を見て、エラーが発生していないかを確認することが一般的である。ソフトウェアのエラー対処を行なう上で、エラー対処を行なった場合でも、サービスが動いているか確認することが難しい場合がある。データセンタに出向いてエラー処理を行なった場合、データセンタ内のネットワーク環境が整備されていないことと、セキュリティ上の問題が原因で、ソフトウェアの確認の際に障害となりうる。セキュリティに関する問題は、DoS攻撃等のサーバ攻撃を受けた際ネットワークアクセスに時間がかかり、場合によっては対処に時間を要する。パケットの速度に関しては現地に出向き、LEDの点滅を確認する等の方法をとった場合に確認することは可能であるが、遠隔地からの確認は難しい。マネジメントとサービスを切り分けて運用している場合には原因特定を容易にすることも可能であるが、切り分けられずに管理されている場合もある。上記項目中、最も対処の難しいエラーはセキュリティ問題であると、ヒアリング調査から分かった。

これらのエラー原因は、何が原因でこの問題が発生しているのか、正確に把握することは難しい。更に、リモートハンド等の遠隔地での作業の場合、問題を特定することは更に困難になる。データセンタの場合であれば管理ソリューション

²ユビキタスコンピューティングシステム研究会 <http://sigubi.ipsj.or.jp/seminar41/>

を利用し、リモートアクセスを行なうことで外部からコンソールにアクセスが可能となる。そのため、遠隔地からのエラー対処が可能となるが、現地の環境等の把握を行なうことは困難である。

2.4.1 フィールドワーク調査

機材シャットダウン作業

2013年12月29日に協生館3Fサーバールームにある情報機器のシャットダウン、情報機器の立ち上げ等の作業に同行した。シャットダウンの際には特に問題等は発生しなかったが、情報機器の立ち上げの際に、情報機器を上げた際に、機材3台にエラーが発生した。HDDの破損、データ読み込み途中でのエラー等が原因であった。その際に、その情報機器の所有者がその場にいなかったため、タグを頼りに所有者の特定を行なった。しかし、その内1台は情報が更新されておらず、所有者の連絡先が分からない状態であった。幸い、機材所有者の連絡先を探し出す事ができたので、図2.7のように連絡をとる事が出来たが、もしも情報を得る事が出来なかった場合、その情報機器はエラーが発生したまま放置される可能性があった。また、所有者が分かっている場合でも、機材の親子関係の影響により、立ち

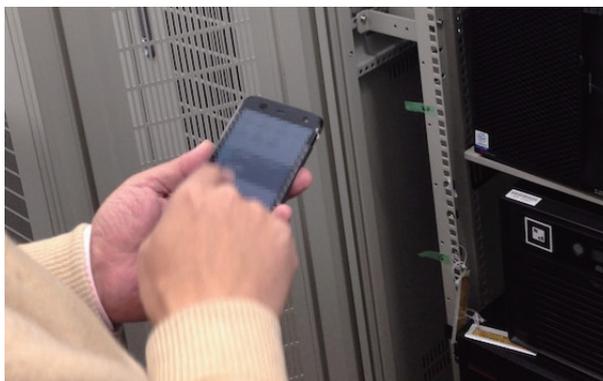


図 2.7: 機材所有者に連絡をとる様子

上げの順番が正しくないと、正常に立ち上がらない場合がある。しかし、情報機器の親子関係に関しては所有者しかその情報を知り得ないのでエラーが発生する

リスクがある。その所有者は代理作業者に対してその情報を指示しなければならないが、情報機器管理経験によってもその指示出しの方法は変わる。場合によっては、事細かに作業内容の指示出しを行なわなければならない、その分の作業コストが発生する。

現状調査と廃棄機材確認作業の調査

情報機器管理の現状を把握すべく、2014年4月11日に情報通信研究機構への現状確認と、都内のデータセンタにて、機材管理者2名で、データセンタのサーバラック5台に混載している機材数台の廃棄確認作業とメンテナンス作業に同行した。情報通信研究機構では、情報機器に関する管理状況について実際にフィールドワークを行なった。その際に、ケーブルの配線等はタグで管理されていたものの、1つの情報機器に接続されたケーブルが多く、どの機材が誰の所有する機材なのかを瞬時に特定する事は困難な状況であった。また、守秘義務の関係で写真撮影を行なう事は出来なかった。

メンテナンス作業に関しては情報機器管理者の内、1名は情報機器管理30年程度の熟練管理者であり、1名は情報機器管理10年以内の中級管理者であった。熟練担当者が共同で管理している情報機器の廃棄に関する指示出しを中級管理者に行なうことが目的である。両者ともに確認する機材に関してはある程度把握しているが、現地に出向いて廃棄する機材の確認行っていた。「なぜわざわざ現地での機材廃棄確認を行なうのか」という問いに対して、「データセンタでの写真撮影が禁止されており、機材全ての詳細を明確に覚えている訳ではない。そのため、廃棄する機材を的確に指示する事が出来ないからである」という回答を得た。熟練管理者が中級管理者に対して、ひとつずつサーバラックの確認を行い、廃棄する機材に対して、中級管理者が養生テープ等で目印を貼付し、次の作業時に作業が可能な様に確認作業を行っていた。

2.5. 作業上の問題点

2.4.1 で記述したフィールドワーク調査調査によって、作業上の問題点を確認出来た。

エラー対処の作業内容も大きく分けて2つある。まずはエラー原因を特定する作業である。現在発生しているエラーは、仮にHDDのエラーであっても単純にハードウェア側のみの問題であるとは限らない。別の要素が原因であった場合には、その問題も解決する必要がある。また、ソフトウェアに関する問題であっても、その原因は様々な要素が絡む場合もある。それらの原因を特定する作業は、情報機器に関する知識はもちろん、情報機器管理の実務経験に依存する。情報機器管理経験の浅い人材では原因の特定作業に時間を費やすこととなり対処出来る問題られてしまう。そして、複雑な問題に対して原因特定を可能なのは実務経験を積んだ熟練者のみであり、それらのエラーに対応出来る人材は限定される。

エラー原因を特定し、エラー処理に対する必要な作業の絞り込みが終了すると、次に行なう作業はエラー処理作業となる。エラー発生時に情報機器管理者が現地にいることはほとんどないので、この作業は場合によっては、データセンタの職員や代理の人間が作業を行なう事もある。エラーの原因を特定しているので、基本的にはそれ程複雑化した作業ではない。しかし、遠隔地にいる情報機器所有者から現地にいる作業者に対しての指示出しが必要となる。

その場合、作業上の問題が発生することがいくつかある。まずは現地の作業担当者の作業コストが、情報機器に関する知識や情報機器管理経験、スキルに依存する点である。上記の情報機器に関する知識とは、一般的な情報機器に関する基礎知識ではなく、機材の使用用途やインストールされている機能等のステータスに関する情報である。これらの知識は機材所有者しか知り得ない情報であるので、情報機器に関する知識に関わらず、必要な情報が不足している場合がほとんどである。また、エラー処理は作業内容は概ね事前に検討されているものの、現地に足を運んで機材を確認した際に、別の問題も発生している可能性もある。この時、現地の作業担当者の経験やスキル等の関係で作業の柔軟性が変わる可能性が大いにある。更に、経験が浅い担当者と熟練の担当者では実務作業で使用される専門用語等の理解度も違うので、それらの前提知識が無い場合は、指示出しのコスト

は変動する．場合によっては言葉を語釈してしまい，間違えた作業を実行する危険性もある．抽象的な単語での指示出しも困難となる．

2.6. 機器が発するアラーム

LED 等によるアラームは直感的であるが，その意味が直ちに分かるとは限らないこともある．例えば，DELL 社製のサーバ SC1425 (図 2.8) では，4 つの LED によって計算機の状態を表示しているが，その LED は ABCD とのみ表示されており，それらの意味はマニュアルを参照しなければ分からない．このような場合にも，なんらかの可視化を用いたサポートが必要がある．また，エラー発生時にビープ音によってオペレータに通知する機材も相当数存在するが，データセンタの環境下は静謐な環境ではない上，同種の機材が高密度に配置されている事も多く，障害を起こしている機材の特定を行なうことは容易ではない．



図 2.8: エラー提示され，ビープ音が鳴る機材

2.7. 仮想環境における必要要件の変化

クラウドサービスや仮想化技術の一般化により [3] [4]，直感的な機材管理が困難になりつつある．既存のサーバにおいては，機材本体を目視することによってエラーへの対処が可能であった．しかし，仮想環境で動作している VM では，ハードウェアとの対応が目視ただけでは分からず，対応するハードウェアが動的に

変化することもある。また、仮想化は技術を使用していなくても、直感的な操作を行うことができない場合もある。記憶装置を NAS(ネットワークアタッチストレージ) に依存している場合には、これらの依存関係を把握することが保守作業には必須であるが、依存関係を直感的に現場で知ることは不可能である。仮想化インフラを可視化し、運用管理の研究もされている [5] が、機材管理者情報と仮想情報を一括して取得することは容易ではない。

2.8. 情報機器管理における要求要件のまとめ

ヒアリング調査やフィールドワークの結果から、情報機器管理において改善すべき問題点は表 2.1 のように挙げられた。これらの問題点に共通する要求要件は「情報の補完」と「ヒューマンエラーの防止」であることが分かる。情報機器管理経験の浅い作業担当者でも、必要な情報を適切に得る事が可能であれば、円滑なエラー対処作業が可能となる。また、作業シーンに応じて必要となる情報も変化するので、使用シーンに応じて必要な情報を提示し、直感的な情報取得を可能にすることによって、必要な情報を正確に伝達する必要がある。

表 2.1: 現状の機材管理が抱える課題点

問題点	原因
タグ情報が不透明	記載情報が変動してもタグの更新を怠る場合がある
情報量の複雑化	管理に必要な情報が増加し、情報取得が容易ではない
情報管理の煩雑さ	個々に情報管理ツールが存在するが、一括管理は困難
作業内容が経験に依存	作業従事者の知識や経験値が代理作業でのコストに依存

上記の問題を解決する為の必要要件は以下の 4 点である。これらの必要要件を全て満たす事により、現状の課題を解決できると仮説する。

1. 常に最新の情報を提示し、情報の補完を行なう
2. 瞬時の機材判別を可能にする

3. ユーザの必要に応じた，分かりやすい情報を提示し，ヒューマンエラーをなくす
4. 抽象的な会話での指示出しを可能にする

これらの必要要件を満たす事により，初心者と熟練者，あるいは遠隔地の情報機器の所有者と現地の作業担当者への情報の補完を可能にし，ヒューマンエラーの防止を行なうことが出来る．これにより，現状の問題を解決する事が可能である．

第3章

関連研究

本章では、本研究で用いる拡張現実感に関する研究を紹介し、拡張現実感を利用した作業支援システムやサービスについて説明し、問題点について述べる。従来のシステムでは解決されていない問題を洗い出し、議論する。それらをもとに本研究で解決すべき点を列挙し、要素整理を行なう。

3.1. 機材判別に関する関連研究

情報機器の特定を行なう方法はいくつか存在する。その一例としてバーコード [6]、QR [6]、AR [7] のを用いた機材特定法が存在する。

バーコードとは一元シンボルであり、記号や数字をデジタルデータとして、読み取り可能になる。汚れや破損に強く、現在物品管理に広く活用されている。QRコードとは、1994年にデンソーが開発したマトリックス型二次元コードである。現在では、web サイト誘導や、物品管理、航空券など、使用用途は多岐にわたる。バーコード同様に汚れや破損に強く、自身でコードの復元を行なう事が可能である。AR マーカとは画像認識型の拡張現実感 (以下、AR. 詳細は 3.2 に記載) システムに使用されるマトリックス型二次元コードである。AR には現在ロケーションベース型 AR, マーカ型 AR, マーカレス型 AR の 3 種類が存在する。今回はデータセンタ等の室内で使用する識別子に対する議論であるため、ロケーション型 AR は比較対象外とする。各識別子の比較表が下記の表 3.1 である。

まず、可読性バーコードは目視での識別に使用することは困難である。QR コードも基本的には可読性は無いが、近年では可読性のある QR コードも開発され、認知されつつある。マーカ型 AR コードは文字はもちろん、記号やイラスト等で識

表 3.1: 各種マーカの比較

種類	可読性	閲覧性	マーカの自由度	認知度	耐久性	情報の格納性
バーコード	×	×	×			×
QR						
マーカ型 AR		×			×	
マーカレス型 AR	×	×	×			

別が可能なので、識別子に可読性を持たせることができ、マーカの自由度も高い。また、QR コードで AR の情報を重畳する事も可能である。

マーカの閲覧性は、QR コードは読み取りに制限が無く、情報端末に QR 読み取り機能があれば、誰でもどの QR コードでも読み取る事が可能である。しかし、AR マーカの場合、専用のアプリケーションシステムをダウンロードを行い、マーカを読み取る事が出来る。

マーカレス型 AR には可読性が無いが、他の識別子の邪魔をする事も無い。従って、他の識別子と掛け合わせて使用可能である。AR は近年、エンターテインメント分野を中心に普及が進んでいるが、バーコードや QR コードと比較すると、その汎用性と認知度は低い。

本研究では情報の可視化を行い、直感的な情報提示を可能にする事で、情報の補完を行なう。研究の目標を考慮した際、AR を用いて情報機器管理を行なうことにより、問題解決を可能にすると考慮出来る。

3.2. 拡張現実感

AR とは、現実空間から受ける知覚的情報にリアルタイムの仮想情報を重畳することで視覚情報の追加を行ない、利用者の活動を支援するユーザインターフェースの技術である [8]。仮想情報には 3D オブジェクトや映像、音楽等の様々な情報を重畳する。これにより、現実空間を拡張、強化することが可能となる。その適用範囲は広告やゲーム等のエンターテインメント分野を始め、軍事、航空、医療等の作業支援や災害対策、シュミレーション訓練と多岐にわたる [9]。

本技術の利点は、アノテーションの位置を比較的制御が可能となる点、開発の容

易さ等がある。物理情報に対して情報を重畳するため、仮想情報の正確な位置合わせを可能にし、位置と距離や見える角度によって情報を表示させる事も可能である。また、3D オブジェクトや欠点としては、照度によって読み取り率に差が発生するので、屋外の照度が低い状況で、視認性が低下している状況だと、場合によっては読み取りに制限が掛かる可能性がある。

AR の代表的な事例として、頓智ドット株式会社¹の「セカイカメラ」[10]がある。

セカイカメラ

セカイカメラとは、iPhone、Android 端末上で動作するビジョンベース AR システムである。タブレット端末で映している実空間の映像にエアタグという情報を貼付し、図 3.1 のようにその情報を重畳する。その際に GPS を用いて情報を表示する。



図 3.1: セカイカメラ

(出典：<http://www.itmedia.co.jp/mobile/articles/0902/17/news076.html>)

¹現在、株式会社 tab へ社名変更されている。出典:<http://corp.tab.do/>

3.2.1 マーカ型 AR の事例

マーカ型 AR は AR でアノテーションを表示する位置を決める際に必要な目印を用いた手法である。AR マーカは、図 3.2 のように太い黒枠で白領域を囲うことによって構成される [11]。システムは白領域内の画像を 0-255 の数値でデータ化し、縦横の解像度を元にデータ化したパターンファイルでマーカの一致率を算出し、マーカの識別を行う。そのため、マーカの白領域内のデザインにかなりの自由度がある。これにより目視可能な AR マーカをデザインすることができる。サーバールーム管理者に関する管理ドメインや通し番号等を識別子にすることで、目視による管理者の特定を可能にする。

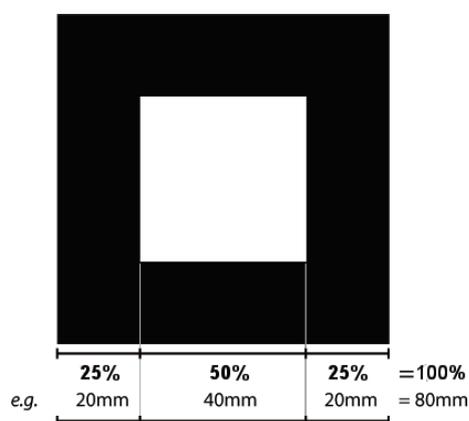


図 3.2: AR マーカの基本

(出典：The Sixwish project [11])

一般的に AR マーカの認識は、 16×16 の 256 に分割して画像処理を行うことが多い。それぞれのマーカに対してパターンファイルを作成しておき、読み取った画像と比較し、一致率が高いものを採用することによって行われる。そのため、デザインの制約を受けることなく識別子の作成が容易となる。開発に必要なプログラムがオープンソースとして配布されているため、比較的コンテンツを簡単に作成する事が可能であり、視認性が高く、解像度の低いカメラであっても動作可能である。しかし、物理的なマーカを貼付しなければ情報の取得が出来ないので、美観を損なう可能性がある。

マーカ型 AR の事例として CyberCode [12] [13] , ARToolKit [14] , reacTIVision [15] がある .

CyberCode

CyberCode (図 3.3) とは , 1996 年に発表されたビジュアル・マーカ型を用いた画像認識技術である . ウェブカメラのような安価なセンサを用いて , 印刷された二次元コードの ID とその三次元的な位置や向きを取得することが可能となる . 三次元位置センサーなどの高価な機器を用いることなく , 容易にかつ正確に位置が整合した実写と CG 映像の合成を行うことができる . 本研究技術は , SONY² によっていくつか商用化されている .

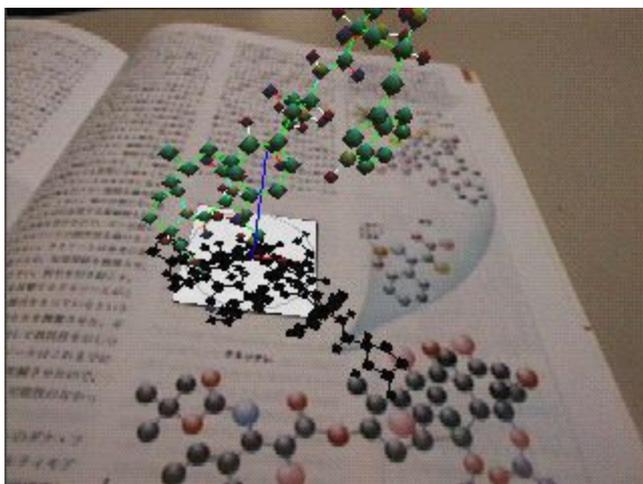


図 3.3: CyberCode 応用事例

(出典 : <http://www.sonyco.jp/person/rekimoto/matrix/Matrix.html>)

ARToolKit

ARToolKit はオープンソースの AR ライブラリである [14] . 本ライブラリの登場により , AR でのコンテンツ開発が容易となり , AR 技術の普及に貢献した . 図

²ソニー株式会社 <http://www.sony.co.jp/>

3.4のようにマーカ上に3Dオブジェクトや様々な情報を重畳する事を可能にした。また、本ライブラリはC言語によってコードが書かれているが、様々な言語で使用可能な様に移植されており、Java や Android で動作する NyARToolkit [16] や Flash で動作する FLARToolKit [17] 等がある。これらのシステムにより、スマートフォンでも動作する AR システムの開発が容易となり、現在では作業支援はもちろん、エンターテインメント分野でのコンテンツが数多く開発されている。

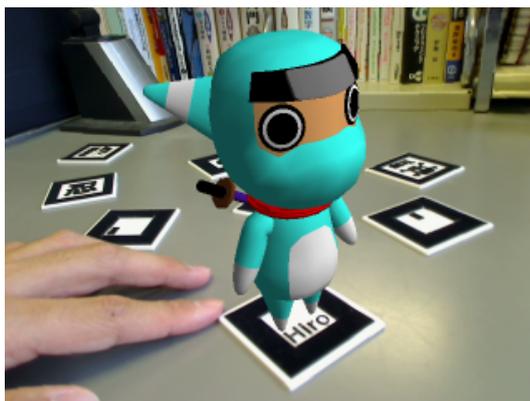


図 3.4: ARToolKit

(出典：<http://kougaku-navi.net/>)

reactIVision

reactIVision とはバルセロナ大学の Music Technology Group³ が開発した、タンジブルなユーザインターフェースの実現のために開発されたツールキットである⁴ [15]。本ツールキットを用いることでコンテンツ開発を容易に行なう事が出来る(図 3.5 参照)。最も有名なシステムとしては図 3.6 の reactable⁵ [18] である。本システムはそれぞれの別の情報をもったキューブをアクリルテーブル上に配置し、音楽を奏でる電子楽器である。それらのキューブを動かす事で、実際に触れる事の出来ない音に触れながら音楽の制作が可能となる。

³Music Technology Group(Pompeu Fabra University) <http://mtg.upf.es/reactable/?software>

⁴reactIVision <http://reactivision.sourceforge.net/>

⁵reactable <http://www.reactable.com/>

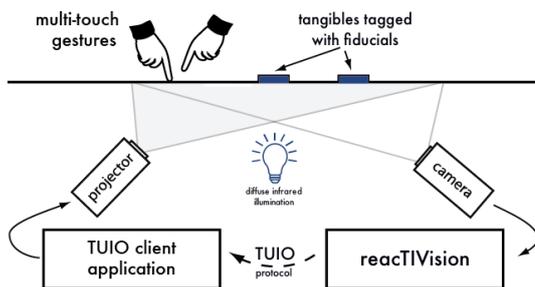


図 3.5: ReactIVision の構成



図 3.6: reavtable

(出典：http://reactivision.sourceforge.net/) (出典：http://www.reactable.com/)

3.2.2 マーカレス型 AR の事例

SmartAR

マーカレス型 AR の事例で有名な事例が SmartAR [19] である。本システムは 2 次元バーコード等のマーカを必要とせず、物体自体を高速認識し、カメラの動きに付加情報を高速追従させ、現実の 3D 空間上に広がりをもって表示が可能な、統合型 AR 技術である。“SmartAR”の物体認識技術は、画像の一部分から得られる特徴（以下「局所特徴」）とその位置関係を用いて物体を認識する。計算量の少ない独自の局所特徴の計算アルゴリズムと確率を用いたマッチング技術によって照明変化や対象物の姿勢変化に強い、高速な認識が可能となる。また、対象となる物体が画像中に比較的小さく写った場合でも、物体を認識することが可能である。

3.3. 情報表示に関する関連研究

可搬型の携帯端末の高性能化に伴い、大容量の情報のやり取りの高速化が可能となった。昨今ではデバイスの進化が目覚ましく、スマートフォンを始めとする様々なデバイスが誕生した。

タブレット端末

タブレット端末とは、携帯電話にパーソナル・デジタル・アシスタント（以下、PDA）機能を持たせたデバイスの総称である。2010年頃から徐々に一般化した。現在のタブレット端末は、スマートフォンよりも大きめのサイズのものが多く発売されている。代表的なタブレット端末は図 3.7 にあるアップル社⁶ の iPad、図 3.8 の Google 社⁷ から発売されている Android や Nexus シリーズ等がある。現在では、多くの人々が日常的にタブレット端末を使用している。カメラセンサや GPS 等の高性能センサの小型化により、センサタブレット端末内に高性能のセンサは搭載されているようになり、大容量のデータの読み取りと表示が可能になった。



図 3.7: iPad



図 3.8: Nexus 9

(出典 : <http://store.apple.com/jp/ipad>) (出典 : <https://www.android.com/tablets/>)

ヘッドマウントディスプレイ

ヘッドマウントディスプレイ（以下、HMD）とは、眼鏡のように装着して映像を視聴出来るデバイスである。HMD の歴史は古く、1960 年代から研究なされて

⁶アップル社 <https://www.apple.com/jp/>

⁷Google 社 <https://www.google.com/intl/ja-jp/about/company/>

いる技術である．形は両眼型と片眼型の2種類に分類される．片眼型の代表的なデバイスが Google 社⁸が開発した図の Google Glass である．両眼型の代表的なデバイスが Oculus VR 社⁹の図の Oculus Rift [20] である．

かつての HMD は眼球に負荷が掛かるため，長時間の装着が困難であった．しかし，現在では低出力レーザで網膜に映像を描画する網膜走査型の HMD も誕生している．



図 3.9: Google Glass



図 3.10: Oculus Rift

(出典：<https://plus.google.com/+GoogleGlass/posts/8PvftzvHT3e>)

(出典：<https://www.oculus.com/rift/>)

本研究の文脈で想定される表示端末の特質に関しては表 3.2 ように分類する．

表 3.2: 表示端末の特質

デバイス	メリット	デメリット
タブレット端末	<ul style="list-style-type: none"> ● 低コストで導入可能 ● 情報を重畳しても邪魔にならない ● 身近なデバイスである 	<ul style="list-style-type: none"> ● 作業中に手が塞がる ● 視線がずれる ● 手ブレする
ウェアラブルデバイス	<ul style="list-style-type: none"> ● 作業中に手が塞がる等の支障が出ない ● 視線のズレを軽減出来る ● 短時間の作業に親和性がある 	<ul style="list-style-type: none"> ● 長時間の作業が難しい ● 表示出来る情報が限定される ● 長時間の作業の際に情報が邪魔になる場合がある

本研究では，上記の特性を考慮した上で，表示すべき情報に対して低コストで提供する事が可能であることから，タブレット端末を用いて研究を行なう．タブ

⁸Google 社 <https://www.google.com/intl/ja-jp/about/company/>

⁹Oculus VR 社 <https://www.oculus.com/>

レット端末を使用した際に的確な情報の表示を可能にすべく、表示情報の検討を行なう。

3.4. 作業支援システムの関連研究

前節で述べた識別子を活用した事例を解説し、問題点を示唆する。

3.4.1 バーコードの事例

バーコードでの物品管理の事例は NEC の物品管理システム SmartAsset [21] がある。本システムは RFID とバーコードを貼付し、物品管理を行なうシステムである。図 3.11 のように日々の設備運用状況をデータベースで一括管理し、Web クライアントから検索することが可能となる。設備棚卸業務の際、PDA 端末で RF タグを読取るだけで現品照合が可能となる。



図 3.11: SmartAsset システムイメージ図

(出典： <http://it-trend.jp/commodity-management/4884>)

3.4.2 QR コードの事例

物品管理システム QpIDeal [2] は QR での物品管理システムである。本システムは QR コードをハンディターミナルで読み取り、情報の取得を簡易化する事によ

り資産管理を円滑に行なうシステムである。オンラインでの情報管理が可能のため、複数拠点の物品の確認を行なう。企業内の備品や固定資産現況調査、官公庁の資産現況調査、放送局の機材貸出管理および現況調査、オフィスや倉庫などの備品・固定資産管理等の作業を円滑化させる。

3.4.3 AR マーカの事例

Smart Field Service

Smart Field Service [22] [23] は AR 技術を応用した保守点検用のシステムである（図 3.12 参照）。現在、メタウォーター株式会社¹⁰ と富士通株式会社¹¹ が共同で保守点検の実証実験を開始している。メタウォーター株式会社は、2013 年から上下水道施設の点検作業にタブレットを活用したインフラ管理サービス「Smart Field Service」を提供しており、2014 年 4 月から、滝沢浄水場の設備更新・維持管理事業に着手している。今後、水道設備などから収集されるビッグデータやヘッドマウントディスプレイなどのウェアラブルデバイスを活用することで、さらなる業務の高度化・効率化を目指し、研究開発を行なっている。実証実験では、水道設備の稼働データや各種センサーから収集したビッグデータを分析活用し、設備の故障予兆検知による予防保守実現に向けて実用性を検証している。また、浄水場における過去の水質情報と気候データを分析・モデル化することで水質予測を行い、浄水における薬剤投入量の最適化により、コスト削減を図る。

VistaFinder Mx

VistaFinder Mx は株式会社 KDDI 研究所¹² から 2014 年 12 月 1 日に発売された、AR 画像をリアルタイム表示する遠隔作業支援システムの商用化に成功したシステムである [24]。離れた現場からスマートフォンを用いて様々なモバイル回線を介し、手軽に高品質な生中継が出来る [25]。図 3.13 のようにライブ映像によ

¹⁰メタウォーター株式会社 <https://www.metawater.co.jp/>

¹¹富士通株式会社 <http://www.fujitsu.com/jp/>

¹²株式会社 KDDI 研究所 <http://www.kddilabs.jp/press/2014/1119.html>



図 3.12: Smart Field Service システムイメージ図
(出典：Smart Field Service [22])

る指示と確認，アーカイブ映像の記録，ハンズフリーカメラ対応，AR による遠隔指示，地図上での位置把握等が可能となる．また，本システムは自社で開発されたマーカー不要な AR エンジンを用いている．図 3.14,3.15 のように作業中にカメラを動かした場合でも AR 指示画像が追従し，情報を重畳するため，遠隔作業指示における認識のズレを軽減でき，作業ミスを削減することを可能にした．高速・軽量化の実現により、従来必要であった AR 専用サーバーが不要となったため、スマートフォン・タブレット本体とソフトウェアのみで稼働する．そのため、特別なシステム構築費用なしに、すぐに使用する事が可能であることも利点の 1 つである．

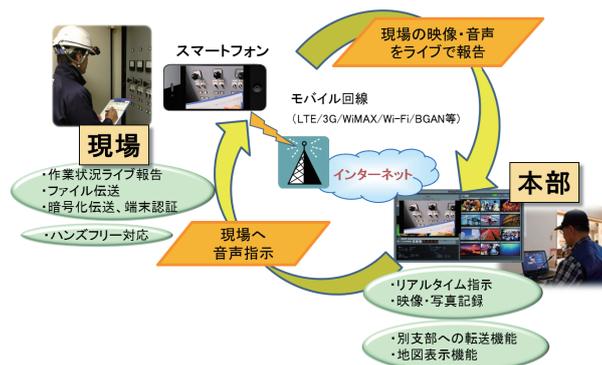


図 3.13: VistaFinder Mx システムイメージ図
(出典：VistaFinder Mx [25])



図 3.14: 作業の様子

(出典： <http://www.kddilabs.jp/press/2014/1119.html>)

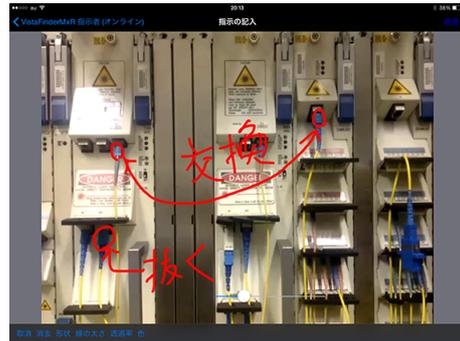


図 3.15: 情報表示画面

(出典： <http://www.kddilabs.jp/press/2014/1119.html>)

3.5. 関連研究のまとめ

SmartAsset や QpIDeal は通常の機材管理や物品管理の作業に対しては親和性があり、作業効率化に貢献する。ただ、サーバやスイッチ、ルータ等の情報機器に関しては、これらの要素だけでは足りない可能性がある。更に、情報の取得を行なう場合に、様々な監視システムから情報を取得する必要があり、直感的な情報提示を行なう事が出来ず、文書化されたマニュアルの様な表示となり、エラー原因が複雑化している情報機器管理においては、全ての情報を網羅する事は困難である。

それに対して、Smart Field Service, VistaFinder Mx 等の AR を利用した事例に関しては、様々な情報に対して、柔軟な対応が可能であり、直感的な情報提示を可能にしている。これは、情報機器管理における必要要件を満たしていると推測出来る。更に、AR の読み取りに関する課題も解決なされており、個人情報を持つ場合でも秘密保持性を保っている。しかし、情報機器管理の情報量や種類慮した際に、現状のシステムでは情報を網羅出来たととしても、情報の表示がマニュアルと大差ない内容となり、本来の拡張現実感のメリットを生かすことが出来ない。リモートハンドに対する解決策として VistaFinder Mx [25] を使用することによ

り、遠隔地にいる責任者と現地にいる作業担当者との作業効率の工場に貢献する。ただ、情報機器管理においては、遠隔地にいる機材所有者は現地の物理的な情報を取得することは困難である。また、現地にいる作業担当者は、情報機器を扱う知識は持ち合わせているが、その情報機器の中でどのような情報が入っているのか、どのような対応を取る事がふさわしいのかを判断する材料を持ち合わせていない。そのため、遠隔地の機材所有者と現地にいる機材管理者との間に情報の乖離が発生している。

リモートハンド等の遠隔作業を行なう上で重要なことは、情報の補完であると推測する。その場合、現在の情報伝達方法のみでは柔軟な指示出しは可能でも、情報の補完を行なうには不十分である。

3.6. 本研究の目的

前節までの事例の比較を行い、本研究では、「情報の補完」と「直感的な情報提示」部分に関する情報機器管理システムの提案を行なう。これらを達成する事により、最新の情報を必要に応じて取得が可能となるため、情報の乖離によるヒューマンエラーの防止と、直感的な情報機器管理を達成する。これにより、情報機器管理における柔軟な対応を可能にし、作業効率化に貢献する。

第4章

情報機器管理システムの提案

前章では、サーバールーム等に代表される情報機器管理に関する現状と問題点を述べた。従来の情報機器管理の問題点であった「情報の正誤性」と「情報の複雑化」を解決し、情報機器管理の円滑化を行なうために、本章ではARを利用した情報機器管理システムの提案を行なう。本システムの概要と現地での作業に対する提案とリモートハンド等に代表される遠隔地での作業に対する提案を行なう。

4.1. 理想の情報機器管理

2章で述べた問題点を解決するために、ユーザや作業内容に応じて情報を提示する必要がある。情報機器に関する様々な目に見えない情報を可視化し、仮想情報を物理空間に重畳し、動的な情報提示を行なうことによって、作業に必要な情報の提示を円滑にし、知識の補完を可能にすべきであると考えられる。

例えば、フィールドワーク調査の中で、廃棄する機材の確認をわざわざ現地に赴いて確認作業を行なっていたが、もそも機材所有者本人が廃棄する機材に事前に何かしらの目印を重畳しておく事ができれば、機材所有者本人は現地に赴く必要は無く、現地で廃棄作業を行なう作業従事者も廃棄作業の際に現地で作業を行なうことが可能である。これにより、作業量の軽減に繋がる。突然のエラーが発生した場合でも、正しい機材所有者の氏名や連絡先を管理出来れば、現地にいる別の作業従事者、あるいはデータセンタのリモートハンドオペレータが指示をおおぐことも可能である。また、遠隔地にいる機材所有者が作業従事者に対して情報の提示を簡単に行なう事ができ、作業従事者も現地の様子を的確に共有し、お互いの知識にの乖離をなくす事が出来れば、抽象的な言葉での的確な指示出しも

実現できる。また、作業内容や人の権限レベルに合わせて、1枚のマーカでそれぞれの作業従事者に合わせた情報提示を可能にすることで、作業従事者の知識補完を行なう事によってヒューマンエラーの抑止への貢献が期待出来る。また、リモートハンド作業下においては、写真に映り込んではいけない他の機材にモザイク等をかけ、本当に見たい情報のみを重畳することにより、的確な指示出しを可能にすることも可能である。

4.2. ヒアリング調査

前節で述べたように、人に応じた情報提示を行なうため、情報機器管理において情報を必要とするユーザの定義と必要な情報の選定を行なう為に、2014年2月28日、3月1日に開催された慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 4th KMDForum¹、2014年3月10～13日のWIDEプロジェクト主催の春合宿研究会²、2014年3月14、15日に開催された情報処理学会 ユビキタスコンピューティングシステム研究会³、マルチメディア、分散、協調とモバイル DICOMO2014 シンポジウム⁴にて様々な年代・実務経験をもった情報機器管理経験者約120人にヒアリング調査を実施した。なお、内訳は長期経験者4割、短期経験者6割である。また、上記のヒアリング調査に加え、情報機器管理経験者数名にインタビュー調査も併せて行なった。

これらのヒアリング調査、インタビュー調査の結果、情報機器管理者は以下の表4.1のように分類出来た。上級者は情報機器の機材知識はもちろん実務経験があるので、スムーズ作業が可能であり、複雑なエラーに対しても対応することが可能である。中級者はある程度の機材知識は持ち合わせており、ある程度の機材管理経験があるので、基本的な情報機器管理に対応することは可能である。ただし、複雑なエラーに対処する事は難しい。また、リモートハンド作業も対応出来る。初心者は情報機器自体の知識は兼ね備えており、簡単なエラー処理や作業は

¹出典 <http://www.kmd.keio.ac.jp/jp/information/2014/02/kmd-transnational-airport—the-4th-kmd-forum-201422831.html>

²出典 <http://www.wide.ad.jp/news/press/20140314-bestposteraward-j.html>

³出典 <http://sigubi.ipsj.or.jp/seminar41/>

⁴出典 <http://www.dicom.org/2014/2014/>

可能であるものの、情報機器管理の実務経験に乏しい。そのため高度なエラーの原因特定やエラー処理は困難である。なお、データセンタ等のリモートハンド従事者に関しては、データセンタによるものの、機材に関する知識があっても、内部の情報を知り得ることが出来ないため、初心者レベルに相当する。

表 4.1: 情報機器管理者のレベル分け

上級者	<ul style="list-style-type: none"> ● 実務経験が 10 年以上である ● 複数の場所に情報機器を所有している ● エラーの原因特定が可能 ● エラー処理が可能 ● 機材を触ることへの抵抗感はない 	機材知識，経験があり，スムーズな作業が可能
中級者	<ul style="list-style-type: none"> ● 実務経験が 5 年から 10 年程度 ● 基本的なエラー原因の特定が可能 ● 発生頻度の低いエラーの特定は難しい ● エラー処理が可能 ● 作業内容を伝えれば代理作業が可能 ● 機材を触ることへの抵抗感はない 	機材知識の不足，経験の浅さからスムーズな作業が困難
初心者	<ul style="list-style-type: none"> ● 時間をかければ簡単なエラー原因の特定が可能 ● 深刻度の高いエラーであれば対処可能 ● 作業内容の細かい指示出しを行えば代理作業が可能 ● 機材を触ることへの抵抗感はある 	機材知識の不足，経験の浅さからスムーズな作業が困難

機材管理の作業環境はローカル環境での作業とリモート環境での作業の二種類存在する。ローカル環境においては、機材所有者本人が作業を行なうため、機材に関する色々な情報を円滑に表示することが要求される。しかし、リモート環境下での作業は機材管理者は遠隔地にいるので、現地にいるオペレータに指示出しを行なうことは難しい。

リモートハンド作業での作業支援は、機材管理経験者の中でも課題があり、問題点を確認できた。また、それぞれが必要とする情報は異なり、情報を必要とする作業も異なる。例えば、トラブル時に本システムの必要性を感じる人もいれば、予備保守の際に必要であると感じる人もおり、ヒアリング調査を通して、機材管理の現場においても、様々な利用シーンがあり、人や作業内容によって必要となる情報の優先順位は変動することを確認した。

二種類の環境での機材管理の情報提示方法は異なるため、作業環境によって情

報の提示方法を変える必要がある。二つの異なる環境の中で、更に機材管理の作業の種類も作業ごとに必要とする情報は異なる。

そして、機材に関連する情報は表 4.2 に示す様に分類出来た。管理者氏名等に関する情報、物品管理等の情報に関してはまとめて管理されている事が多く、機材本体に関する情報は管理ステーション等のシステムを使用して管理を行なっている場合が多い。仮想情報に関しても、管理ツールを用いて情報を管理する。物理情報やネットワークに関連する情報は文書化することはなかなか難しく、情報が必要な場合に瞬時に確認する事は困難である。しかし、何かのトラブルが発生した際に、物理的な情報が必要になることも多くあり、情報機器管理経験者からのインタビュー調査の際にも情報を瞬時に取得する必要があるという意見が散見された。また、仮想情報に関しては、情報が管理されていたとしても、コンソールを確認した場合でも、詳細情報を確認出来ない場合がある。そのため、物理情報と同様に、確認が難しいという意見もあった。

表 4.2: 情報機器に関する情報の分類

情報の種類	具体例
管理者情報	機材所有者氏名, 所属, 連絡先等
製品情報	製品名, 型番等
機材本体に関する情報	CPU 温度, システム稼働率, ファン稼働率等
物品管理情報	購入年度, 購入予算等
物理情報	電源系統, ケーブル接続状況等
仮想情報	VM, VLAN 等
ネットワーク情報	IP アドレス等
運用保守情報	サポートセンタ連絡先, サポート期限等

情報機器管理における作業用途は表 4.3 に示す様に五種類に分類される。

1 つ目は機材の導入である。機材を導入する際のセットアップ等の作業の際に機材の周辺情報や機材の情報、保守に関する情報を必要とする。2 つ目は機材の移動である。機材を移動する際に、場合によっては電源系統やケーブル配線の変更

表 4.3: 情報機器管理における作業用途

作業内容	必要とする情報
導入	機材本体情報，周辺情報，保守情報等
移動	周辺情報，ネットワーク関連情報等
トラブルシューティング	機材管理者情報，機材本体情報等
予備保守	機材本体情報，周辺情報等
廃棄	機材本体情報，周辺情報等

を要する場合がある．その場合には機材の周辺情報や電源系統，機材に関する情報を必要とする．3つ目はトラブルシューティングである．機材にトラブルが発生した際，機材所有者がその場にいることはほとんどない．そのため，機材管理者に関する情報を必要とし，図 4.1，4.2 のようにトラブルの原因を探るために，機材本体の情報が必要となる．4つ目は予備保守である．予備保守はトラブルシューティングとは違い，正常に動作している機材に対して作業を行うので，機材情報に加え，周辺情報を必要とし，作業内容に応じてネットワークに関する情報も必要となる．5つ目は，廃棄である．廃棄の際には機材の撤去の際に必要な機材本体の情報や，接続関係に関連する情報等が必要となる．なお，リモートハンドでの作業を行なう場合には，どの作業内容であっても，機材管理者に関する情報が不可欠となる．



図 4.1: エラーが発生している機材

ローカル環境での作業は，機材所有者が直接機材の対応を行なうので，専門的



図 4.2: トラブルシューティングに関する作業の様子

な情報を必要とする．その際に必要な情報を取得するためには，必要な項目ごとに適切な情報の表示が可能でなければならない．

4.3. AR を利用した情報機器管理システムの提案

4.3.1 システム概要

情報機器管理において，機材の情報を必要とする際の目的は大きく分けて2つ存在する．1つ目は，機材管理者の特定を目的とする場合である．複数の機材が混在する共同空間において，機材管理者の特定のため，機材管理者に関する情報が必要となる．2つ目は，その機材に関する詳細情報取得を目的とする場合である．トラブルが発生時に管理者がその場にいることはほとんどない．サーバールーム管理者が機材トラブルを発見した際，機材管理者へ連絡のために，機材管理者に関する情報が必須となる．更に，機材の保守に関連する機密性が高い情報もトラブルの修復には必要となる．この場合には機材に関する詳細情報が必要となる．

このような問題の解決のために，「情報取得」と「情報管理」という2種類のアプローチが必要となる．「情報取得」というアプローチに関して，目視での機材管理者特定を試みた．機材管理者を特定し，使用者情報や機材自体に関する詳細情報が必要な場合，情報を簡単に取得することを可能にする必要がある．

また、ネットワークを利用して、機材管理者がどこからでも簡単に情報変更を可能にする環境を整備する必要がある。そこで、人が目視可能な識別子を持ち、様々な情報を提示することができる AR 技術を利用し、情報機器管理の円滑化を可能にするシステムを提案する。機材に貼付されている AR マーカを専用のアプリケーションシステムをダウンロードしたデバイスをかざすと、動的に更新された仮想情報を重畳することが可能となり、円滑な情報取得を可能にする。

なお、情報の管理に関しては、管理情報データベースにてグルーピング化して情報管理を行なう。これにより AR マーカを利用して最低限の情報を表示することで瞬時に機材管理者の特定を容易にする。また、機材に関する詳細情報を必要とする場合に、手持ちのデバイスをかざすことにより映像に重畳された最新の情報を瞬時に読み取ることが可能となる。また、情報をグループ化して保存することにより、ひとつの AR マーカで人の権限レベルでの情報の提示も視野に入れている。今後遠隔地にいる機材所有者と現地にいる機材管理者でのリモートハンド作業の円滑化も視野に入れて研究を行なう。

4.3.2 ローカル環境での情報提示

機材管理の現場で実際に作業を行う方々のアドバイスを整理すると、作業用途によって必要な情報は異なることはもちろん、同じ作業用途であった場合でも、人によっても必要な情報の優先順位は異なるということが分かった。例えば、トラブルが発生時や、予備保守の場合に、従来では管理ステーション [26] を使用して、機材に関する情報を取得し、トラブルの原因を分析していた。

このような情報は実際に機材管理の現場で参照することは難しく、必要な情報をそれぞれコンソールから取得しなければならない。しかし、機材スペック等の物理的な情報の取得は可能であるが、仮想化された情報を取得することは容易ではない。従来の機材で、機材管理者情報や、機材スペックに関する情報、仮想環境に関する情報、機材の外部接続状況、保守運用に関する情報等と言った多種多様な情報を一括して管理することは非常に困難である。また、仮に情報を一括して管理することが可能なシステムがあった場合、その情報を箇条書きにしてまとめておいても、必要な情報を探さなければならず、情報の検索が煩雑になり、情報

取得に関する根本的な解決にはならない。必要な情報を必要な場合に取得するためには、瞬時に多くの情報を取得することができ、そこから自分の必要とする情報を瞬時に検索を可能にする情報提示方式を実現する必要がある。

4.3.3 リモート環境での情報提示

リモートハンドの抱える大きな課題は、遠隔地にいる機材所有者と現地にいる機材管理者との意思疎通をとることが非常に困難であるという点である。機材にトラブルが発生した際、機材所有者がその場にいることはほとんどない。また、機材所有者が現地に出向いてトラブルシューティングを行うことが不可能な場合がある。その際には現地にいる機材管理者と通話や映像を通してコンタクトを取りながら、機材のトラブルシューティングを行う。データセンタ各社でリモートハンドサービスを実施している場合もある。現地のオペレータが作業代行を行ない、遠隔地にいる機材所有者の指示のもと作業を行なう。その場合、遠隔地にいる機材所有者は機材の専門的知識を持ち合わせているが、現地にいる機材管理者は必ずしも機材所有者と同等の機材知識を用いる人物であるとは限らない。また、機材管理の経験も遠隔地側と現地側では差異がある場合もある。遠隔地にいる機材管理者が現地にいる機材管理者に対して的確な指示出しを行なうことは難しい。機材管理者は現地の状況を的確に機材管理者に伝えるために、機材ごとに現状を伝えなければならない。機材所有者もまた、データセンタの様子を想像しながら、機材管理者に分かりやすい指示出しを行なわなければならない。現地で直接作業をおこなう場合に用いられる抽象的な言葉を使用することは困難な場合がある。

その問題を解消する策として、現在データセンタでは映像を取る場合は撮影許可をとり、オペレータの監視のもとに映像や写真を撮影し、遠隔地にいる機材所有者に情報を送り、その情報をもとに機材所有者は現地にいる機材管理者に指示を出す。しかし、場所によっては撮影禁止しており、音声のみでやり取りを行う場合もある。従来の方法では、遠隔地にいる機材所有者は直感的な指示出しを行なうことは非常に困難であり、具体的に説明を織り交ぜながら指示出しを行なわなければならない。現地側の機材管理者とも意思疎通を取りながらの作業となるので、機材所有者の負担が大きくなる。また現地側の機材管理者も、機材管理者

に現地の様子や機材の情報を口頭で的確に伝えなければならず、機材管理者の負担も増加する。

撮影禁止となる背景には、他人の機材が映像に映り込む事によって個人情報の流出を防ぐ目的がある。そのため、オブジェクト表示機能によって認証されている機材以外の映像箇所を隠すことでこの問題を解決することが可能であると考えた。もともと必要な情報のみを送り、見せてはならない情報映像の上にオブジェクトあるいはモザイク加工を施すことによって情報を守り、現地にいる機材管理者の負担を軽減させる。

4.4. 設計要件

前章で述べた情報機器管理の提案における前節でのコンセプトを実現を考慮した際、ARの技術を用いる事により、要求要件を満たすことが可能である。

まずは、常に最新の情報を提示し、情報の補完が可能であるという点である。ARは実空間にオブジェクトやテキストデータはもちろん、音声データや映像をと重畳する事が可能となる。ARマーカは大容量の情報の重畳を可能にするので情報量が多く、複雑化してる情報を表示する事に適している。

次に、ユーザの必要に応じた、情報の可視化が可能であるという点である。拡張現実感を利用して、仮想空間の情報と実空間の物理的な情報を重畳する事によって、雑化した情報の確認を容易にすることが出来ると考えた。オブジェクトによって必要な情報はもちろん、不必要な情報もオブジェクトで隠し、ユーザにとって本当に必要な情報のみを提示することが可能になる。

続いて、閲覧者にあわせた情報を提示が可能であるという点である。前章の比較でも述べたように、ARマーカは専用のアプリケーションシステムをダウンロードしなければ、情報を重畳する事は出来ない。そのため、デバイスにシステムを導入する際に情報の登録に嫌悪感を示す事無くダウンロード出来るため、情報のグルーピング化も容易となる。グルーピング化された情報に権限をかけ、一つのマーカで権限別に情報提示が可能になる。最後に、アプリケーションシステムの開発環境が整っている点である。バーコード、QRコードに比べ、ARはオープン

ソースライブラリが数多く提供されているので、開発が比較的容易である。マーカ型 AR はもちろん、マーカレス型 AR での開発も簡易化してきていることも、AR の適応性である。人々の身近なデバイスであるタブレットに本システムをダウンロードするだけで、簡単に使用が可能となる。

第5章

ARを用いた情報機器管理システム の設計

本章では前章で提案したARを利用した情報機器管理システムの設計を行なう。前章での提案をもとに、本研究で提案するシステムの設計を行い、プロトタイプを実装した。プロトタイプを用いて予備実験としてユーザの使用感に関する確認を行なった。

5.1. 情報表示に関する設計

5.1.1 現場作業における情報提示

機材管理を行なう上で必要となる情報は必要とする優先順位に応じて表示することが求められる。そこで、必要な各種作業にとって必要な情報をビジュアル化させて図5.1の画面のように表示する。詳細情報は、画面左側にあるステータス画面のボタンをタップし、取得する。また、何度も閲覧するマーカの情報に関しては、説明をタップし、図5.1の画面左側のステータス画面の下に情報を一時保存しておく。図5.1の場合、G11という機材の情報を一時保存されている状態である。

図5.3のような作業のツールも表示されるので、必要に応じて使用することも可能となる。例えば、作業中にメモを書き残しておける様、図5.1の画面の右下の位置にあるNoteアイコンをタップし、色分けをしてメモを残すことができる。簡潔な作業ログに関してもここに書き残すことができ、次回の作業でそのログを

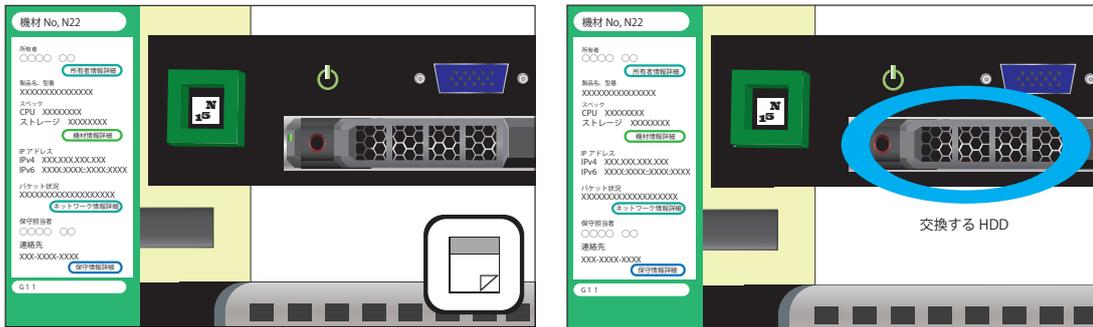


図 5.1: AR マーカ認識時の画面イメージ (正常時) 図 5.2: 交換する HDD の表示画面イメージ

参考に作業を行なうことも可能である。また、Camera 機能を用いてキャプチャを撮影し、その画像を参照しながらの作業も可能にすることで、投影し続けるという負担を軽減させる。リモートハンドが必要である場合、Calling ボタンをタップし、機材所有者本人との通話も可能にすることで円滑にリモートハンド作業をおこなうことも可能だ。

タブレット端末で機材に貼付されている AR マーカを読み取った際、もしも機材に Alert が検出されない場合は、画面左側のステータス画面の背景は緑色で表示される。その機材に重畳しているオブジェクトも同様に緑色で表示される。

もしも機材に Warning, Alert が検出された場合、図 5.4 の様なアイコンが画面上に重畳される。Warning はステータス画面の背景と AR マーカに重畳されているオブジェクトは黄色になり、Alert 検出時は同様のものが赤色へと変化する。そのため、瞬時に機材の変化に関する情報を伝達できる。

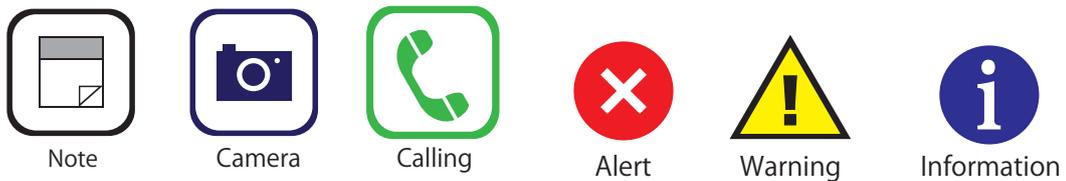


図 5.3: 画面に表示されるツールアイコンのイメージ 図 5.4: エラー発生時のアイコンのイメージ

また、予備保守の際には図 5.2 の様に交換する HDD にマークが表示され、予備

保守の作業支援を行なう。これにより、予備保守の際の確認作業の円滑化を可能にする。

例えば、Alert 検出時の画面表示は図 5.5 の様に示す。複数の Alert や Warning が検出されることもあるが、全ての情報を表示するとかえって深刻な問題なのか判断出来ない。機材に関する情報を管理ステーションから情報を呼び出し、多種多様な情報をそれぞれ管理されているサービスから引き出さなくとも、本システム一台での情報取得が可能となる。

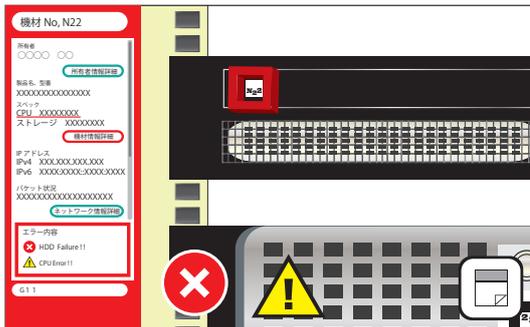


図 5.5: Alert , Warning 検出時の情報表示画面

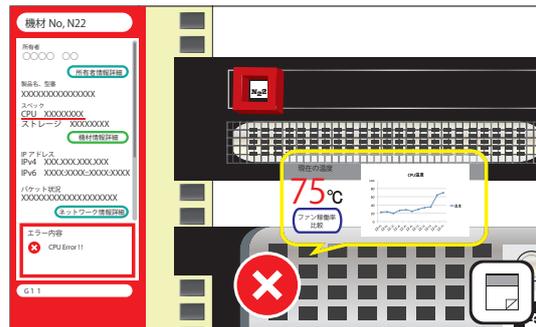


図 5.6: 詳細情報表示画面のイメージ

図 5.5 の場合、かざしただけで CPU の温度が上昇してしまったと判断できる。そこで、アイコンをタップすることによって図 5.6 のような詳細情報の取得を行ない、現在の情報と過去のログデータを比較できる。図 5.6 の表示の場合、現在の CPU の温度は 75 であり、CPU の温度に関するグラフを参照すると、12:40 頃に変化があったと分かる。更にファン稼働率とともに温度の変化を表示できるようにする。また、仮に HDD の障害が検出された場合、HDD が raid-6 のように余裕がある冗長構成を取っている場合には、直ちに対応する必要はない。機材所有者がそのように判断した場合には、一定期間（例えば 1 週間）は Alert に対応したアイコンは表示しないことにする。AR マーカに重畳しているオブジェクトも、他の障害が検出されていない場合には緑色に表示される。ただしこの場合でも、画面左のステータス画面は赤色のまま残す。

データを分析した上で、機材所有者が直ちに HDD の交換を行なわなくても良いと判断を行ない、Alert の消去を可能にする。その場合、図 5.7 のように Alert

を隠すことによって、現在読み取っている AR マーカに重畳されているオブジェクトの色を黄色ないしは緑色に変化するが、ステータス画面の枠の色は赤色のままとし、エラーが残留していることを示す。そして Note 機能を利用して、HDD 交換に関するメモを機材に残しておくことが可能となる。

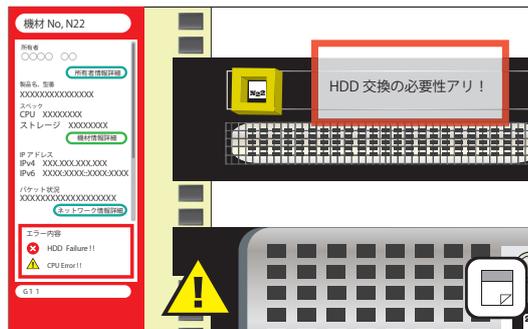


図 5.7: ノート機能を利用した際の表示画面イメージ

5.1.2 リモートハンドにおける情報提示

リモートハンド作業の課題点を解決するためには、遠隔地にいる機材所有者が現地側にいる機材管理者に対して、隣にいるかのように抽象的な言葉を用いて直感的な指示出しをおこなう必要がある。そのために、カメラを用いて遠隔地側から自由に自分の見たい方向を見ることができ、その情報を現地側に見せることによつて的確な指示出しを容易にすることが可能である。その際に遠隔地側は現地側の映像を交換するが、現地側の画面には相手の映像を伝送せず、その代わりに図 5.8 のように、遠隔者の目線での現地側の映像を表示する。遠隔地側から操作出来るカメラを用いて映像を映し出し、遠隔地側の目線を現地側に伝送することによって、視線の一致をとる。遠隔地側の映像を重畳することで、機材所有者の目線を可視化し、作業の円滑化を高める。

その際に、権限のないサーバやサーバラックに関してはモザイクを画面を重畳することによって、遠隔地側には必要な情報だけを伝達することが可能となる。また、リモートハンドの場合、実作業をおこなうのは現地にいる機材管理者である

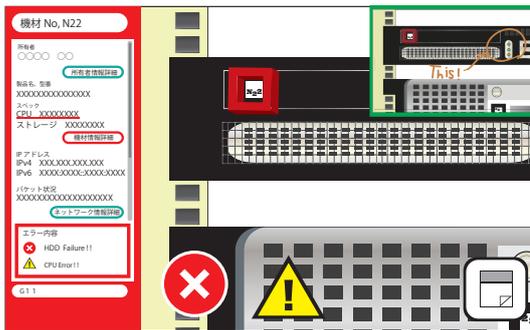


図 5.8: リモートハンドの際の表示画面イメージ

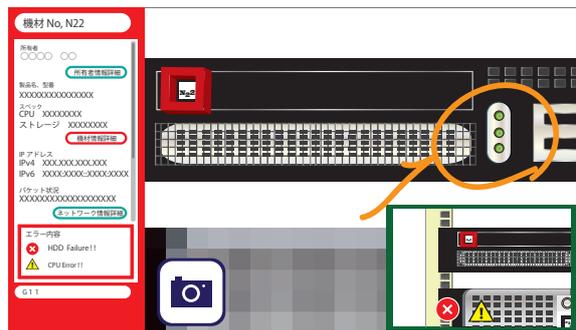


図 5.9: 遠隔地側の画面イメージ

ので、権限の問題で、場合によってはその機材のセキュリティ度合いの高い情報に関しては情報が提示不可能で、遠隔地側の機材所有者が情報を確認できない場合が想定される。その解決策として機材所有者の権利を一時的に委譲し、遠隔地側の機材所有者に関しては本人が現地で表示可能な情報を遠隔地においても閲覧可能にする。そして、直感的な対応が可能になるよう、図 5.9 の様に遠隔側から画面上でタッチペンで描画した指示を現地側の画面に重畳することが可能であり、場合によっては Camera 機能を選択し、その静止画を現地側に送り、場合によってはその画像にタッチペンで描画することも可能だ。遠隔地側の機材所有者が現地にいる機材管理者に対して、音声情報だけではなく、視覚情報でも情報伝達を容易にすることにより、直感的な指示だしを容易にする。これにより、現地側の機材管理者が、遠隔地側の機材管理者の指示を正しく受け取り、対処することで、機材管理者の作業ミスの軽減に貢献することが可能となる。

5.2. プロトタイプの実装

5.2.1 情報表示

実空間に投影されているのにも関わらず、たくさんの情報を画面上に撮影すると、画面に映る機材を隠す可能性がある。そのため、多様な情報を直感的に提示する方法として、図 5.10 のように画面の左上に情報提示することにした。ただし、情報がただ表示されているだけでは、どの機材の情報なのかを判断することは難

しい。そのため、対応する AR マーカに四角形のオブジェクトを表示し、AR マーカと機材の詳細情報との直感的な把握を可能にした。更に、図 5.11 のような複数のマーカを同時に読み取ることも可能である。その際に、提示している文字の背景の色と対応した AR マーカに表示された四角形の色を同じものにするによって、混乱を避けることができる。

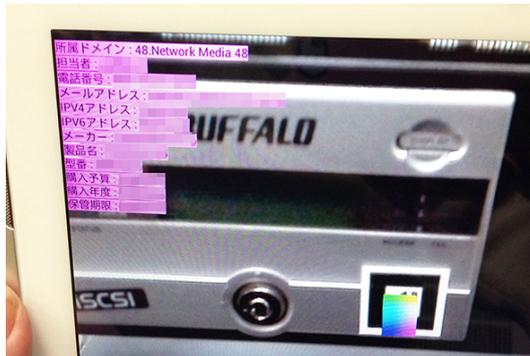


図 5.10: 情報提示画面



図 5.11: 近接する AR マーカ

5.2.2 AR マーカ

標準的な AR マーカを実際に試してみたところ，認識率は 50% 程度であり，実用に耐えるものではなかった．また，図 5.12 のような AR マーカでは，管理者の理解という点では優れているが，文字が小さいため，管理者の年齢によっては誤読する危険性もある．さらに AR マーカを NyARToolKit を用いて認識した場合にも，誤認識する可能性が高い．

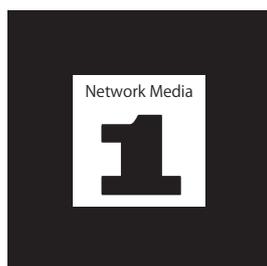


図 5.12: 誤認識しやすい AR マーカ例

大きな AR マーカを使用できる場合には深刻な問題にならないが，本研究では 1U のサーバを対象にしたため問題となる．DVD ドライブの取り出し口に貼付できるようにするため，AR マーカの外周の 1.5mm 幅程度の余白を含めて 1.5cm×1.5cm 程度の大きさにする必要があり，AR マーカの設計には注意が必要である．

このような問題を解決するため，本研究では以下のような改善を行った：

1. AR マーカに記す ID を簡略化する．
2. ID に用いる書体を認識率が高いものにする．
3. 認識に必要な計算量が増えることになるが，マーカの画像処理における分割を， 16×16 の 256 分割から 64×64 の 4096 分割と細かくする．
4. AR マーカ認識時のパターンの一致率が 75% 以下の場合には認識しなかったと判定する．
5. ID によって各文字の配置を工夫する．

以下、これらについて述べる。

AR マーカに使用する ID を簡略化し、管理ドメインの略号を英字 1 字と最大 2 桁の通し番号とすることにした。これによって認識率が高い AR マーカの設計が容易になった。また使用するフォントに関して、各種のフォントを使って試験し、認識率が最も高かったものを用いた。ここでは、各数字のフォントデザインに類似性の少ない「Blackoak Std」というフォントを用いることにした。

ID の表示であるが、まず AR マーカの白領域部分を 図 5.13 のように 4 分割にし、図 5.14 のように管理ドメインを示す英字 1 字と 2 桁までの数字に対して、それぞれの位置を規定した。

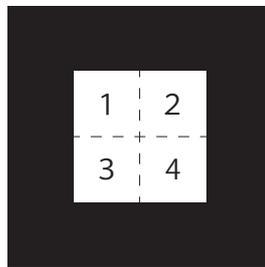


図 5.13: 四分割にした白領域

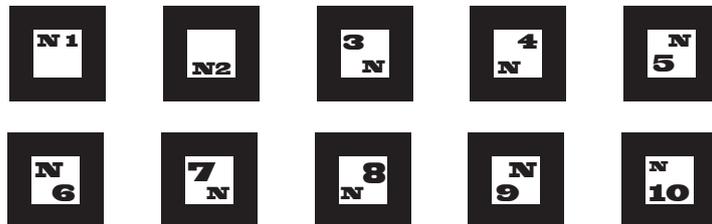


図 5.14: 誤認識防止のための AR マーカ配置例

数字が一桁の場合には、英字の種類には依存せず、表 5.1 に示すような位置に各文字を配置する。例えば、N4 の場合、表 5.1 に示すように、N を図 5.13 に示す領域 3（左下）に、数字 1 を領域 2（右上）に配置する。N10 の場合には、文字 N を領域 1（左上）に、数字 1 を領域 3（左下）に、数字 0 を領域 4（右下）に配置する。

表 5.1: ID の文字の配置

ID	英字の位置	数字の位置
N 1	N : 1	1 : 2
N 2	N : 3	2 : 4
N 3	N : 4	3 : 1
N 4	N : 3	4 : 2
N 5	N : 2	5 : 3
N 6	N : 1	6 : 4
N 7	N : 4	7 : 1
N 8	N : 3	8 : 2
N 9	N : 2	9 : 3
N10	N : 1	1 : 3 , 0 : 4

その結果生成される AR マーカは，図 5.14 に示すようなものになる．数字の 2 は 3 や 8 と誤認識することが多かったため，それぞれの位置を変えることによってパターンとして区別しやすくすることがこの配置の目的である．

数字が二桁の場合には，基本的には一の位の数字に対応した領域（例：17 の場合には図 5.15 に示すように，7 と同じ領域 1）に表示する．ただし，二桁の数字を単純にその領域に記すのではなく，領域をさらに 2×2 の 4 等分し，配置を工夫する．管理者が目視した際に誤解しないように，10 の位の数字は 1 の位の数字の左に配置するが，数字によって位置と文字の大きさを変えることにより認識率の向上を図った．



図 5.15: 下 1 桁が同じ AR マーカ

5.3. プロトタイプを用いた予備実験

5.3.1 実験概要

本稿で提案する機材管理システムの有用性を確認するために、評価実験を行った。2013年12月29日に法定点検に伴う停電の際にサーバラック5台に設置されている74台の機材メンテナンスを対象にプロトタイプ実験を行った。

停電後のサーバの復旧作業を行う際に、例年のサーバ復旧作業と比べて、サーバ管理者の作業コストの差を調査した。ARマーカの読み取りは、今回はSamsung製 GALAXY Note10.1を使用した。74台のサーバに、最小1.5cm×1.5cm、最大3.5cm×3.5cmのARマーカを作成し、機材の大きさに合わせて図5.16の様に配置した。なお、マーカの詳細は付録8.1に記載する。マーカが近接している場合、単一のマーカのみを認識する様に制御を行った。さらに、ARマーカで詳細情報を取得する際に、ARマーカの誤認識についても調査した。



図 5.16: AR マーカを貼付した情報機器

5.3.2 実験結果

復電後のサーバの復旧作業中、問題が発生した機材が複数あった。その際、図5.17に示すようにARマーカにタブレット端末をかざして電話番号を取得し、直接電話をかけることができ、機材トラブルに対して迅速な対処が実現した。例年

必要だった情報取得に関する時間を短縮することができた。また、複数の機材で問題が発生したため、本システムで情報取得を行ったが、AR マーカの読み取り時間に差があったものの、誤認識は起こらなかった。これらの実験の結果から本研究の有用性を確認することができた。



図 5.17: プロトタイプ実験の様子

5.3.3 考察

今回の実験では、AR マーカから詳細情報の取得を行った際に、サーバールームの明るさや機材の位置によって読み取り時間に差があり、それによって情報取得の時間に影響した。AR マーカの位置によっては光が反射してしまい、AR マーカパターンの一致率に影響を及ぼしていたことが分かっている。今後、反射を防ぐ素材でマーカを作成する等の対策を行うことで、読み取り速度の改善を計ることが必要である。また、情報端末のカメラの設定によってもマーカの読み取り精度に差が発生した。そのため、今後は露出の細かな制御が必要である。

今回の実験では実施しなかったが、AR マーカの複数表示を可能にすることによって、機材の依存関係を確認することもできる。これにより、シャットダウン作業の際に必要な情報を円滑に取得することが可能となる。

今回は AR マーカの機材管理のシナリオでの有用性を確認することを主張にしたため、管理情報データベースはタブレット上で動作するアプリケーションソフトウェアに埋め込んだ状態のプロトタイプの実装を用いた。停電時のデータベー

スアクセスに工夫は必要であるが，外部データベースとの連携や，管理者に応じた情報開示のレベルの設定など，より実用化に向けた検討が今後必要である．

5.4. プロトタイプを用いた使用感に関する予備調査

前章で述べた実験に使用したプロトタイプを用いて，慶應義塾大学メディアデザイン研究科 The 4th KMDforum¹(図 5.18 参照)，WIDE Project² の研究会(図 5.19 参照)にてデモ展示を行なった．デモでは来場者にタブレットを使用してマーカから情報の取得を体験してもらい，コメントをもらった．デモ展示の結果，予備保守の際のガイドラインへの対応や，リモートハンド等の情報機器管理における有用性に関する好評価を得た．また，情報機器管理経験者のフィードバックとして，文書化出来ない物理的情報への対応や，AR マーカの読み取り速度に対する指摘を受けた．次章以降の設計・実装に向け有益な情報収集を行なうことが出来た．



図 5.18: KMD Forum での展示の様子



図 5.19: WIDE 研究会でのポスター発表の様子

¹出典 <http://www.kmd.keio.ac.jp/jp/information/2014/02/kmd-transnational-airport—the-4th-kmd-forum-201422831.html>

²出典 <http://www.wide.ad.jp/>

第6章

ARを用いた情報機器管理システム の実装

前章での設計を踏まえ、本章では拡張現実感を利用した情報機器管理システムの実装方法について述べる。

6.1. システム構成

情報機器管理における問題点であった情報機器の所有者と情報機器の管理者との情報の乖離や、現地作業における情報の補完と、情報の不透明性によるヒューマンエラーへの対処を解決する必要がある。その解決策として、「情報読み取り」、「情報取得方法」、「情報表示」の3点に焦点を絞った。これにより、ユーザの情報の補完やヒューマンエラーの防止を可能にする。

図6.1のように、まず、機材に貼付されているARマーカをカメラを読み取る。カメラパラメータから取得した情報検索し、マーカの一致率を求める。Unity側のImage TargetとARマーカが一定の一致率に到達した場合、Unity側に該当したマーカの結果を返す。その結果をもとにMySQLを用いて外部のデータベースにアクセスを行ない、ARマーカが貼付されている機材の情報をSELECT文で検索を行う。管理データベースの構成は、User_info, MGST, User, Spec, VMの5つのテーブルを用意する。なお、User_infoには機材基本情報、MGSTには管理セッションから送られてくる情報機器の稼働状況に関する情報、Userには情報機器管理者の情報、Specには機材本体に関する情報、VMには仮想化されている情報をそれぞれ管理する。これらはそれぞれ情報の更新頻度は異なる。また、MGSTの情報に

関しては書く機材にインストールして管理ステーションの情報を管理する。機材の情報はその都度変動するため、ある一定の期間で情報を取得する必要がある。その際に SNMP (Simple Network Management Protocol) で機材に各種情報の問い合わせを行い、管理ステーションから必要情報の取得を可能にする。今回は3秒に1回情報の取得を行なう。万が一緊急エラーが発生した際には、SNMP Trapでデータベースに情報が通知される。

デバイスで情報を読み取りが行なわれている間、上記のプロセスは動作し続けるので、常に最新の情報を表示することが可能となる。

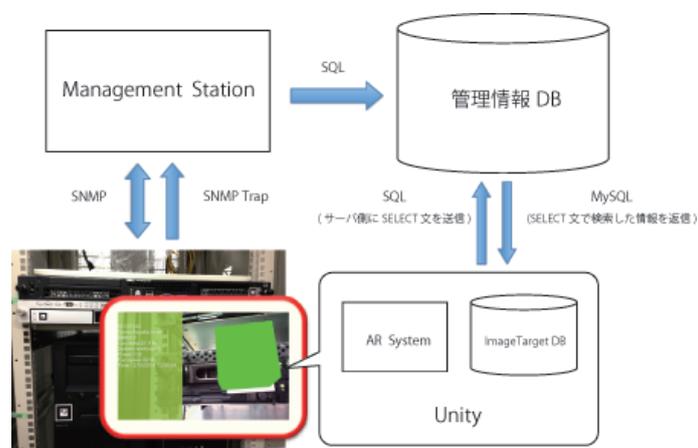


図 6.1: システム構成図

6.2. 開発環境

今回、クライアント側の開発には Unity¹ を使用した。本ゲームエンジンは、ゲームの開発に使用されるプラットフォームであるが、AR 開発用ライブラリである Vuforia² を用いて開発を行なった。なお、本システムは図 6.2 のシステム構成を使用してシステムの開発を行なった。

¹Unity <http://japan.unity3d.com/>

²Qualcomm <https://developer.vuforia.com/>

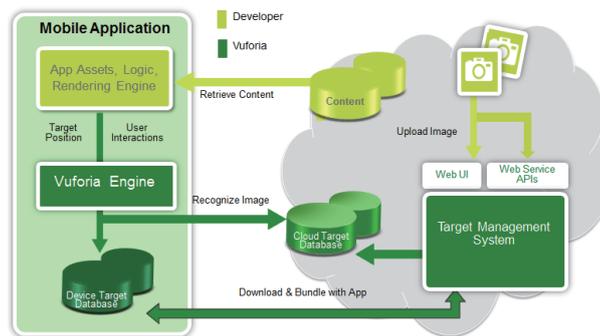


図 6.2: Vuforia システム構成図

(出典 : <https://developer.vuforia.com/resources/dev-guide/getting-started>)

6.3. データベース

今回はPHPを使用してデータベースの実装を行なった。必要な情報に優先順位をつけて表示を行なう場合、情報のカテゴリ別にテーブルを設計し、場合分けを行なう必要がある。今回はuser_dbというデータベース内でuser_info, MGST, user, spec, VMの5つのテーブルを作成し、情報をカテゴライズして情報の管理を試みた。user_infoにuserの基本情報、MGSTには管理ステーションの情報、userには機材所有者に関する情報、specには機材本体の情報、VMには機材の中にある仮想化された情報がそれぞれ記載されている。今回詳細なデータベーススキーマに関してはテーブルuser_info, MGSTの2つのテーブルを例にとって説明する。なお、user_infoのテーブル構造は付録8.1に記載する。これらはuser_idによって各テーブルの紐付けがされており、SELECT文で検索する際にもこのカラムの情報を用いて情報の検索を行なう。1番更新頻度の高い管理ステーションの情報を管理するMGSTのテーブル(付録8.2に記載)に関しては、古くなった情報を消去し、その上から新しい情報の上書きを行なう。

6.4. 可視化手法

情報の可視化の関しては、今回管理ステーションから送られてくる情報をもとに情報機器の健康状態を確認可能にした。この立方体は管理情報データベースか

ら取得した情報を可視化している．int 型で正常な場合は 0，エラーの場合は 1，warning の場合は 2，error の場合は 3 が送信されるので，結果に応じてオブジェクトの色を条件分岐させて表示する．Status に 0 が送られた場合，図 6.3 のように，情報機器に特に問題がないと判断され，緑色の立方体が表示される．



図 6.3: 正常な画面



図 6.4: エラー発生時の画面

もしもエラーが発生した場合，緑色の立方体が図 6.4 のように赤色に変化する．また，それが特に早急に解決しなければならないエラーではなかった場合，エラーを消す事が可能となる．その場合は立方体の色は緑になるが，ステータス画面背景は緑色ではなく，赤色になる．

また，情報機器に関連する情報は，個人情報はもちろん，機材によっては企業内機密情報等が含まれている場合もある．それらの情報を誰でも同じ様に提示を行なう訳ではなく，情報に権限を設け，ひとつの AR マーカでユーザの権限レベルに応じた提示を行なう．もしも権限レベルの低い機材の情報を読み込んだ場合，図 6.5 のように，情報機器の所有者等の情報のみが重畳され，個人情報に関する情報は表示されない．同じユーザであっても高い権限を所持する情報機器に関しては図 6.6 のように情報が重畳される．



図 6.5: 権限を持たない場合の画面



図 6.6: 権限を持っている場合の画面

6.5. 実装結果

前説で述べた設計方法をもとに実装を行い，システムプロトタイプを作成し，慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科³「The 5th KMDforum」⁴にて，図 6.7 のようにプロトタイプのデモ展示を行なった．来場者にプロトタイプを使用してもらい，マーカから情報機器の取得を体験後，ヒアリング調査を行なった．今回は，カメラ精度の関係から，web カメラで情報を読み取り，laptop での表示を行なった．実際に稼働しているサーバにマーカを貼付し，プロトタイプで読み取り可能な機材を 2 台用意し，3 秒おきにデータベースアクセスし，情報の取得を可能にした．



図 6.7: KMD フォーラム・デモ展示の様子

³<http://www.kmd.keio.ac.jp/jp/>

⁴<http://www.kmd.keio.ac.jp/jp/information/2014/10/5kmd20141122.html>

第7章

ARを用いた情報機器管理に関する 可視化手法の評価

前章で述べた設計，実装をもとに，プロトタイプの試作を行ない，評価実験を行なった．評価実験は「機能評価」と「ユーザ評価実験」の2種類の実験をもって評価実験とする．

機能評価は，プロトタイプを動作させ，必要要件を満たしているか確認を行なった．

ユーザ評価実験は，評価実験 A として初心者と中級者との従来手法と提案手法の比較を行った．それぞれの作業時間を計測し，正解率の確認を行い，プロトタイプの使用感に関して調査した．更に，その結果をもとに評価実験 B として初心者による従来方式と本システム方式の比較を実施した．従来方式の作業方法と本システムで提案するシステムのプロトタイプを用いて作業を実施してもらい，評価実験 A と同様にそれぞれの作業時間を計測し，正解率の確認を行い，プロトタイプの使用感に関して調査した．それぞれの実験の結果，考察をもとに本システムの情報機器管理における本システムの有用性を確認した．

7.1. 機能評価

7.1.1 概要

本研究で提案する情報機器管理システムが，2章で述べた必要要件をどの程度満たしているのか，プロトタイプを用いて機能評価を行なった．プロトタイプを

動作させた上で、情報のリアルタイム性、情報の可視化について評価を行なった。今回は AR の認識精度を高めるため、株式会社バッファロー 320 万画素 web カメラ BSW32KM03 シリーズを、MacBookPro Retina, 15-inch, Early 2013 に接続し、MacBookPro Retina 上で情報を提示した。また、AR マーカの大きさは 2.5cm 四方のマーカを貼付した。マーカをかざすと情報の取得が可能となる。今回は「情報の可視化」、「情報更新」、「物理情報と仮想情報の一致」の 2 点を確認した。

7.1.2 情報の可視化

今回、情報機器に関連する様々な情報を大まかにカテゴリ化し、各情報ごとに情報更新を行い、それぞれの情報をまとめて表示した。例えば、管理ステーションで管理されている情報機器に関する情報と所有者に関する情報の管理は、同一の情報機器に関する情報であっても、収集方法が異なる。従来の情報機器管理においては、各情報を必要な場合に適宜情報を探し出す。本方式では、それぞれの情報を情報更新状況に合わせて情報取得を行い、プロトタイプでは情報をまとめて提示した。情報の保管場所の違う情報を簡単に確認することができた。また、自分が所有していない機材に対しては名前等の最低限の情報しか提示せず、自分の所有している機材、あるいは高い権限レベルがあるには電話番号等の個人情報が表示される。権限別の情報提示に関する実装を行い、権限別に情報提示が可能となった（詳細は 6.4 に記載）。権限別の情報提示を可能にし、1 つの AR マーカでの人による情報提示に関する必要要件を満たす事が出来る事を確認した。本要素を使用し、今後ユーザの使用シーンに応じた情報提示を行なうことが期待出来る。

しかしその一方で、物品管理システム等の外部の情報管理システムを使用して情報を管理している場合、外部からアクセスを行なって情報を管理しなければならない場合がある。情報によっては外部ツールとの連携を行なう必要があるため、情報取得に関する外部ツールの連携について考慮すべきである。今後は各種情報の収集方法に関する仕組みを検討する必要がある。

7.1.3 情報更新

機材に内包する情報を常に最新にしておくためには、情報を常に最新にしておく必要がある。設計でカテゴリ化した際に一番更新頻度の高い情報は管理ステーションに関する情報であった。その際に、一定期間の情報更新が必要となる。一般的に管理ステーションでは10～20秒に1回の情報取得行なう事が多い。しかし、今回はログ情報の提示を行なうために、3秒に1回情報の取得を行なった。

短時間での情報取得を行なう事は重要であり、常に変動する情報を取得するためには、短期間での情報収集が必要となる。取得時間を短くした事により、機材の変化にも細かく対応できるようになった。

平均照度290LUXの環境下で管理している6台の情報機器に対し、各5回、計30回のマーカ読み取り時間計測を行なった。その結果を表7.1に示すが、計時は手動で行なったため、±0.3秒程度の誤差が含まれている。平均は2.342666667秒であった。

表 7.1: AR マーカの読み取り時間

機材	照度 (LUX)	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	各機材平均時間
機材 1	384	0:01.60	0:03.50	0:01.73	0:05.08	0:04.41	0:03.264
機材 2	315	0:01.76	0:01.41	0:01.61	0:01.46	0:01.41	0:01.53
機材 3	320	0:01.73	0:00.65	0:01.95	0:01.28	0:01.16	0:01.354
機材 4	284	0:01.93	0:2.85	0:01.18	0:01.45	0:01.98	0:01.878
機材 5	277	0:03.46	0:03.31	0:03.61	0:02.55	0:02.08	0:03.002
機材 6	162	0:02.25	0:05.77	0:01.38	0:02.78	0:02.96	0:03.028
	各回平均時間	0:02.121666667	0:02.915	0:01.91	0:02.433333	0:02.3333	2.342666667

カメラをかざしただけで情報の取得が可能であり、平均2.3秒での情報提示を確認した。最も更新頻度の高い情報の場合、3秒ごとに更新されるため、ARマーカの読み取りを行い、情報取得を行なった情報に関しては最大2秒の遅延が確認されたもの、作業上2秒の遅延は特に作業上の問題が発生する程の深刻さではなかった。

しかし、マーカ読み取り速度は室内の明るさに依存するため、ARマーカに黒領域に光が反射しない程度の明るさである事、外側の白枠を1cm程度設けなければ円滑に取得出来ない場合がある。この点に関して、今後検討する必要がある。

7.1.4 物理情報と仮想情報の一致

今回、機材のステータスをオブジェクトと色で場合分けを行ない、情報提示に関する機能評価を行なった。Web カメラをかざした際に立方体のオブジェクトが表示され、情報機器が正常な挙動を示している場合には緑、異常が発生している間には赤の表示が行なわれる様設計・実装を行なった。ハードウェアに関するエラー原因だった場合は機材を確認すればエラー状況を確認出来るが、ソフトウェアに関する原因であった場合は、機材を目視しただけではエラー原因を確認する事は困難である。その際にオブジェクトと色でエラー状況の表示を行なう事によって情報の可視化を行なう事が出来た。

これにより、情報機器管理における直感的な情報取得を可能にし、情報機器に内包する情報の可視化を可能にした。情報の可視化によって情報提示に関する要件を満たしたと言える。しかし、作業環境や作業内容を考慮した情報提示を可能にするためには、様々な情報の可視化を行なう必要がある。また、各種情報の細かな優先順位について検討する必要がある。

7.1.5 機能評価における考察

今回、情報の円滑な取得と直感的な情報提示を可能にすることで、機材管理を円滑化を可能にした。その一方で、可視化すべき情報の詳細な情報選定と、情報のグラフィックに関する課題を解決する必要がある。

また、情報取得に関するシステム構成に関しても考慮する必要がある。本研究で提案した実装では、管理ステーション側から int 型で受け取った情報をクライアント側で変換し、条件分岐を行なう事で、オブジェクトの色を変化させた。しかし、この方法ではある一定量の機材に対しては対応可能であるが、情報機器が膨大になった場合、データベースを動かす機材に負荷がかかる可能性がある。

7.2. ユーザ評価実験 A:初心者と中級者による比較

7.2.1 概要

本システムの使用感を観察し，情報機器管理における本システムの有用性を確認するため，ユーザ評価を行なった．今回は図 7.1 のように作業頻度の多い予備保守時の HDD 交換を想定したシミュレーションを行い，作業支援に関する評価実験を行なった．ユーザ評価実験 A では，に記述した初心者と中級者に該当する被験者 1 名ずつに，従来の情報機器管理方法で予備保守時の HDD の交換のシミュレーション作業を行なってもらい，1 台あたりの作業時間と合計作業時間を比較し，行動分析を行なった．



図 7.1: 作業の様子

4 台のサーバラックの中から 3 台機材を探し出し，指定された HDD に対して図 7.1 のように付箋を貼付する作業を行なった．4 台のサーバラックには，計 42 台の

機材が混載されている。作業上の諸注意として、付箋の貼付は1度のみ行ない、シミュレーションにリアリティを持たせるために貼り直しを禁止した。その際、被験者に対して機材の特定に必要な「ラック番号、機材番号（サービスタグ）、交換すべき HDD の番号」の3種類の情報提示を行なった。従来の手法では付箋の情報をもとに HDD の場所の特定を行なう。本論文で提案するシステムを用いた手法は、上記の付箋の情報に加え、本システムのプロトタイプを使用してもらい、実験を実施した。その際、プロトタイプを使用した上で、物理情報を確認したい場合には、情報機器に貼付してある情報を確認することも、特に制限しないものとする。また、今回システムのプロトタイプには、図 7.2 のように該当する情報機器には機材情報に加えて、交換すべき HDD の場所に目印を重畳させ、HDD 交換に必要な情報の提示を行なった。



図 7.2: 提案方式での表示画面

7.2.2 評価項目

評価項目は作業時間の計測、作業の正確性、ユーザへの作業に関するコメントの3点をもって評価とする。1台あたりの作業時間、合計作業時間の計測を行い、正誤率の確認を行なう。また、作業中の被験者の行動観察も行なった。作業終了後、被験者からコメントをもらった。

7.2.3 実験環境

協生館 3F にある C3N16 内にあるサーバラック 4 台を対象に実験を行なった（図 7.3 参照）。実験に使用した機材は，前回の実験と同様に，株式会社バッファロー 320 万画素 web カメラ BSW32KM03 シリーズ，MacBookPro Retina, 15-inch, Early 2013 に接続し，MacBookPro を使用した．AR マーカの大きさは 2.5cm 四方のマーカを貼付した．なお，マーカの大きさを特に考慮しないものとする．



図 7.3: 実験に使用した情報機器の一部

被験者に関しては，各作業を初心者と中級者 1 名ずつに従来手法での実験と，本システムの提案手法での実験を行なった．初心者は実務経験が未経験から 1 年未満であり，CLI (Command Line Interface) の操作が可能である人材を選出した．中級者は実務経験が 5 年から 10 年程度で機材の基礎知識があり，CLI の操作の抵抗感がなく，代理作業経験者を選出した．

7.2.4 評価実験手順

それぞれの方法での作業にかかる時間を確認するために、一台あたりの機材特定にかかった時間を計測する。2つの条件を比較し、それぞれの時間を計測することによって作業時間における作業時間違いを検証する。特定した機材に関しては、正誤性を確認する。そして、作業中の行動観察やそれぞれの条件下で作業した感想を伺い、コメントによってユーザの使用感の分析を行なう。

7.2.5 結果

本実験結果を以下の図 7.4 に示す。初心者 A、経験者 B は従来手法での作業を行い、初心者 C、経験者 D は本論で提案した手法を用いたプロトタイプを用いて作業を行なった。

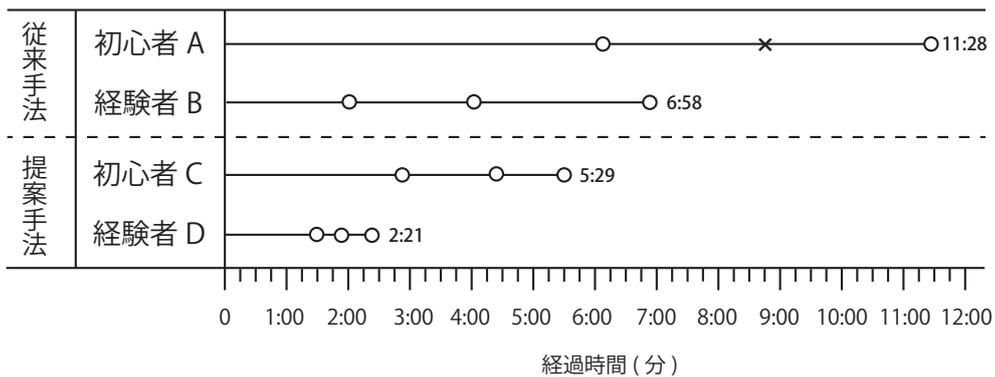


図 7.4: 評価実験 A 結果

初心者 A は情報機器管理の経験がほとんどなく知識がないからか、1台にかかる作業時間が多かった。その中で1番タイムロスの原因となった作業は、機材特定作業であった。サーバラック番号や機材番号に関する情報を共有させていたとしても、未経験であることから、機材の番号を見つけることに時間を要していた。また、1度見た情報であっても、不安感から何度も確認を行なっており、付箋貼付の際には最終確認のため、もう一度確認を行なったっていた。その行為が結果的にタイムロスに繋がった。機材番号が機材の中にタグとして収納されている機材の場合、1台ずつ確認しなければならず、その点においても時間を要していた。何

度も確認しているにも関わらず、複数のサーバでの作業では、間違っただ作業を行なってしまう場合もあった。作業終了後、「作業中終始不安感があり、本当に合っているのか何度も確認した」と被験者 A からコメントを得ている。また、機材によって機材番号や HDD の場所の記載が違い、その点においても不安感を与えていた。

それに対し、経験者 B は同様の手法であったが、初心者の半分の時間で作業を終了させ、全ての作業を間違いなく行っていた。作業中も機材ごとに機材番号の提示場所が違うものの、機材を特定すると躊躇無く付箋を貼付していた。機材の挙動がある程度把握出来ているので、他人の機材を触る事に関しても特に不安は無かった。機材管理の経験がある程度ある場合は経験で作業中の不安感を感じることなく作業を行なっていることが確認出来た。作業後のコメントでも「指示者の指示通りに動いているので、その情報に偽りは無い限りは作業に対して不安感はない」というコメントを得た。

初心者 C と経験者 D の作業時間は、経験者 D が初心者 C の半分で作業を終えたものの、初心者 C は従来方式で作業を行なった初心者 A の作業時間の半分の時間で作業を終了させた。また、作業も全て間違いなく行なうことが出来た。従来手法で作業を行なった初心者 A は作業中、終始不安を感じており、何回も確認を行なっていた。それに対し、初心者 C は作業実行中に何度も機材番号を確認することはしなかった。作業終了後の被験者のコメントの中でも、読み取り時間に差があり、場所に寄っては読み取りにくいものも合った。しかし、機材や該当する HDD に目印がついていたので、作業を行なう際に分かりやすかった」、「付箋を貼付する際には自信を持って貼る事が出来たとあり、初心者 C が作業自体に不安感を持つことなく作業を行なうことが出来たことを確認した。予備実験でも問題となった読み取り時間に関する問題は、今回の実験でも観測された。読み取る場所や位置によって上手く読み込む事が出来ず、作業時間自体は短縮されたもの、場合によっては多少のフラストレーションを感じる場合があった。

経験者 D も従来方式で作業を行なった経験者 B の半分の時間で作業を終えた。正解率に関しては、どちらの手法においても同様の結果となった。従来手法で作業を行なった経験者 B は作業に対して特に不安を感じることなく作業を行なって

いたが、経験者 D に関しても特に不安感を持つ事無く作業を行っており、付箋を貼付する際にも、特に躊躇する姿は観測出来なかった。しかし、作業終了後のコメントの中では、読み取りに多少の慣れが必要であるものの、目印が重畳されるので、不安感なく貼付することが出来たと回答していた。

7.2.6 考察

予備実験や機能評価実験等で散見された読み取り時間に差があった問題に関しては、照度による問題だけではなく手ぶれに関する問題点や、システムの慣れによっても読み取り時間に差がある事を確認した。仮に読み取りが容易である位置であっても、かざす方法によっては、上手くマーカを読み取る事が出来ない場合がある。最初にシステムを使用した場合でも、最初に AR マーカを読み取った際に初心者 C、経験者 D の両者とも、読み取りに苦戦していた。しかし、何回かかざして情報を表示するようになると、システムの使用方法に慣れてくるので、読み取り時間も早くなった。また、同様に手ぶれに関する問題も発生した。システムに慣れて読み取りに支障がなくなった場合でも、焦ってかざした場合、手ぶれが発生する。マーカの読み取りが上手くいった場合でも、手ぶれの影響でマーカを上手く写し続けることが出来ずに、表示が終了してしまった。このような課題点を解決するために、ユーザのシステム使用方法に関する検討を行なう必要がある。

次に、システムの使用に伴う注意力の低下である。今回作業を行なう際に、仮に機材の場所や HDD 番号に関する情報がハードウェアに記載されていたとしても、の情報を確認しない場合があった。初心者 C も、最初に HDD 番号がどこに書いているのかを把握せずに作業を行っていた。番号を把握せずに機材の特定を行なうことが出来たが、仮に手ぶれ等ので目印が定まらなかった場合に、目印だけでは間違った機材を特定してしまう可能性もある。そのようなミスを誘発しないためにも、オブジェクトの表示に関して考慮する必要がある。

7.2.7 評価実験 A まとめ

評価実験 A では、初心者と情報機器管理経験者に従来の手法と本研究での提案方式の手法でそれぞれ HDD 交換作業を実施し、作業時間を計測し、行動観察を行なった。従来の手法で作業した時間と本研究での提案方式で作業した時間とでは、どちらも半分程度時間に短縮された。ユーザの行動やコメントを分析すると、従来の手法での作業の際に、初心者は不安感を感じて作業していた事が分かった。それに対し、本研究での提案手法で作業を行なった際に、初心者の不安感を軽減する事が可能である事を確認した。また、今回の実験での作業は情報機器管理の中でも作業フローの少ない作業であったが、初心者のみではなく中級者であっても、不安感を多少でも軽減することが出来た。したがって、作業時間の低減が示唆される。様々な所有者の機材が混載する複数のサーバでの作業の場合、初心者や中級者の作業時間を半分にすることが確認出来たので、初心者に対しての作業効率の向上に寄与することが期待される。間違った操作によるダメージやコストは大きいと、正しい作業をアシストする際には有効である可能性が高い。その一方で、ラックの位置によって読み取り時間に差が観測され、場合によっては、作業の障害となった。また、手ぶれの影響や、システム使用法に関する慣れが必要である部分に関しては今後検討が必要である。

7.3. 実験 B:初心者による従来方式と本システム方式の比較

7.3.1 概要

評価実験 A の実験結果をもとに初心者を対象として、従来方式での作業と本研究で提案するシステムでの作業の比較実験を行なった。今回被験者には予備保守時におけるラックマウントサーバの HDD 交換シミュレーション作業をお願いした。2つの条件下で同様の作業を実施し、作業終了後に作業に関するアンケートを実施した。その際に評価項目は作業時間の計測、作業の正確性、ユーザの使用感に関するコメントの3点をもって評価とする。

1台のサーバラックの中から3台の機材を特定し、指定されたHDDに対して付箋を貼付する作業を行なった。1台のサーバラックには、計7台の機材が混載されている。作業上の諸注意として、評価実験Aと同様に付箋の貼付は1度のみ行ない、シミュレーションにリアリティを持たせるために貼り直しを禁止した。その際、被験者に対して機材の特定に必要な「ラック番号、機材番号（サービスタグ）、交換すべきHDDの番号」の3種類の情報提示を行なった。従来の手法では付箋の情報をもとにHDDの場所の特定を行なう。本論文で提案するシステムを用いた手法は、上記の付箋の情報に加え、本システムのプロトタイプを使用してもらい、作業を実施した。その際、プロトタイプを使用した上で、物理情報を確認したい場合には、情報機器に貼付してある情報を確認することも、特に制限しないものとする。また、今回システムのプロトタイプには、図7.5のように該当する情報機器には機材情報に加えて、交換すべきHDDの場所に目印を重畳させ、HDD交換に必要な情報の提示を行なった。

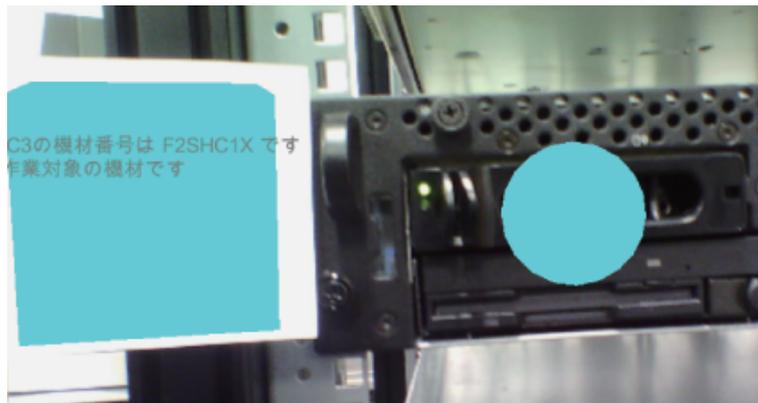


図 7.5: HDD に目印が重畳されている様子

7.3.2 実験環境

今回の実験も評価実験Aと同様に協生館C3N16教室にあるハーフサーバラック1台を対象に実験を行なった（図7.3参照）。

実験に使用した機材は、前回の実験と同様に、株式会社バッファロー 320万画素 web カメラ BSW32KM03 シリーズ、MacBookPro Retina, 15-inch, Early 2013

に接続し，MacBookPro を使用した．可読性の観点から，AR マーカの大きさは 2.5cm 四方のマーカを貼付した．

被験者に関しては，初心者該当する機材管理未経験者を対象とした．初心者の定義は評価実験 A と同様に，実務経験が未経験から 1 年未満であり，CLI の操作が可能である人材に実験協力をお願いした．なお，被験者は全て日本人である．2 回目の作業の際の学習効果が結果に影響しない様，2 つのグループをつくり，5 人ずつに振り分けを行い，計 10 人の被験者に実施した．被験者 A から E は，従来の手法での作業を行い，次に本研究で提案する方式での作業を行なった（図 7.6,7.7 参照）．被験者 1 から 5 は，その逆である．



図 7.6: 従来方式での作業風景



図 7.7: 提案システム方式での作業風景

7.3.3 評価実験手順

被験者には二の条件下で同じ作業を行なってもらい，各作業終了後に作業を行なった感想を頂き，最後に 2 つの条件下での作業を比較した感想を頂いた．なお，

作業中に各作業時間を計測し，合計時間の算出を行ない，作業終了後に作業の正誤性を確認した．そして，作業中の行動観察やそれぞれの条件下で作業した感想を伺い，コメントによってユーザの使用感の分析を行なう．

7.3.4 結果

各手法での作業時間と正解率を図 7.8,7.9 に示す．

作業の正誤性に関しては，従来手法と提案手法でのそれぞれの作業において間違いが発生した被験者が 1 名ずつ確認出来た．従来手法の間違った作業の原因は，確認ミスによる，ヒューマンエラーであった．従来方式の原因は，手ぶれによって発生した目印部分のズレによる把握ミスであった．

作業時間に関しては，図 7.10 のように，従来方式はばらつきが大きい．それに比べ，提案方式はばらつきが小さい．学習効果によって，2 回目の作業に関してはどちらの条件であっても作業時間が短くなる事が観測された．ただし，従来方式に比較して本方式の方が作業時間が短縮された事は確認出来なかった．

今回の評価手法は学習効果による影響を大きく受けた．これを軽減するためには，評価手法を変えずに被験者数を増やす手法，次に，それぞれの被験者に対して多くの回数の作業を依頼し，その際に従来方式と提案方式を適宜混在させる手法，そして，サーバの種類や代数を増やし，より複雑な環境下での実験を実施する手法等といった，評価手法に対する検討が必要である．

ユーザの使用感に関する検証では，作業後のコメントから，従来方式での作業に関しては，評価実験 A の結果と同様に，作業に不安感を感じていた被験者が 10 名中 7 名いたことが分かった．その一方で提案方式の作業で不安を感じた人は 10 名中 3 名であり，従来方式よりも提案方式の作業の方が楽であったと答えた人数は 4 名，不安感なく作業を行なうことが出来た人数は 5 名であった．また，ゲーム感覚でおもしろかったと答えた人数が 6 名いた．

提案方式の作業を行なった被験者 1 から 5 の中で，ハードウェアに記載されている機材番号の位置，あるいは Disc 番号を把握しないままに作業を行っていた人数は 5 人中 3 人であった．その 3 人は誤った作業を行なう事無く，作業を行なう事が出来ていた．

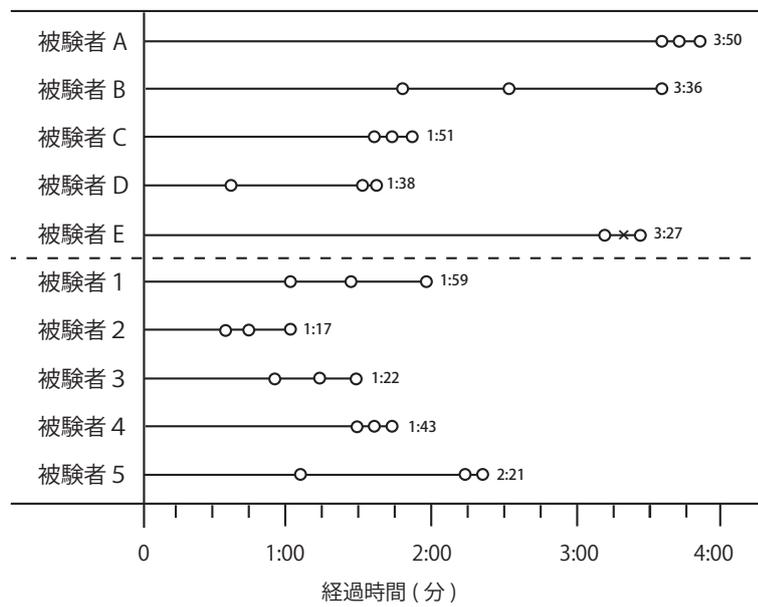


図 7.8: 従来方式の各作業時間と正解率

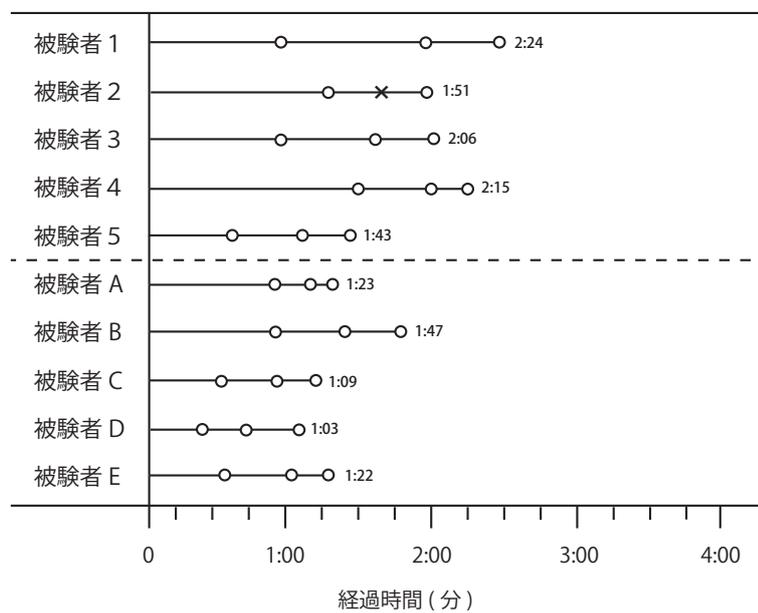


図 7.9: 提案システム方式の各作業時間と正解率

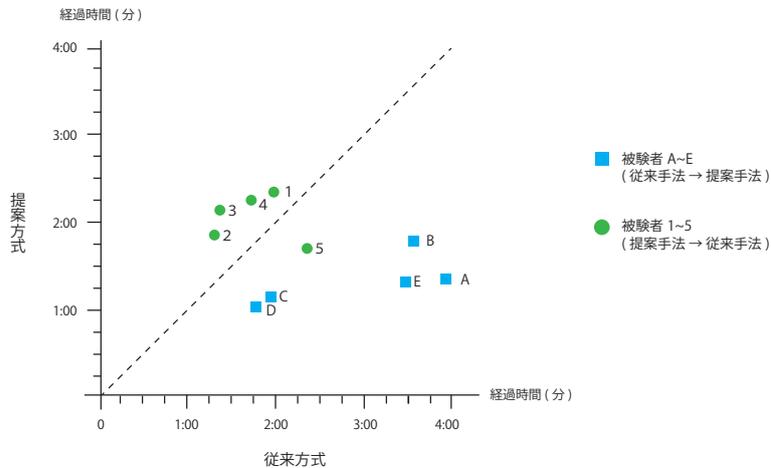


図 7.10: 従来方式と提案方式の作業時間に関する散布図

予備実験や評価実験 A で散見されたマーカの位置や照度による読み取り時間のズレや、マーカが読み取れないと感じた人数は、今回は 10 人中 2 人であった。し読み取れない事に対して不満を感じた人は少なかったが、機材の慣れによる読み取りの差についての回答もいくつか確認出来た。

また、今回は慣れや手ぶれ等の問題に加え、今自分がどの位置の機材に対して情報を重畳しているかを確認する事が出来ず、作業中に混乱してしまった人が 10 人中 2 人観測された。この問題はカメラ位置と視線の位置にズレが生じていたことや、マーカの上にオブジェクトが上場されて、マーカの番号を確認出来なかった事が原因であると考えられる。

7.3.5 考察

評価実験 A で確認した作業従事者の作業上に発生する不安感の軽減に関しては、今回の評価実験においても確認する事が出来た。コメントにおいてもゲーム感覚で楽しかった、分かりやすかった等の回答を受けた。従来の作業においては、機材の位置や HDD の特定の際に、目印が何も無かったので、不安感があったとのコメントが散見された。被験者のコメントからも、本研究での提案方式の方が作業の際の不安感を軽減することが出来たと推測出来る。図 7.8,7.9 を比較すると、従来手法での被験者サンプルは、同等の知識レベルや情報機器管理のスキルを持ち

合わせている被験者であっても、作業時間に差が出ていた。これは、不安感から疑心暗鬼になって何度も確認する際に、1台あたりの機材特定時間が長くなることが原因であった。しかし、提案方式での提案の場合は大幅な時間差は確認出来なかった。各被験者の作業に関する行動を観察してみても、何度も機材番号を確認する様なことは特に無く、作業を行なう事が出来ていたことが確認出来た。提案手法は作業上の不安感を軽減させた事により、作業上の不安感からくる作業のタイムロスや遅延を軽減し、作業時間を短縮できた事認出来た推測出来る。これにより、初心者の不安感を軽減させ、作業効率に貢献することを確認できた。それに加え、今回は本研究の提案方式を使用した際に、マーカに重畳される仮想情報のみで作業を行い、ハードウェアに記載されている機材番号や HDD の番号の位置を確認する事無く作業を行なっている被験者を確認出来た。機材特有の情報を探し出す手間を省くことに貢献する可能を示唆した。それと同時に手ぶれによって目印の位置を見誤り、HDD の番号の確認を怠って間違った機材に付箋を貼付したケースも 1 件確認出来た。仮想情報の重畳は作業に役立つ可能性があるが、過信してしまう可能性も否定出来ない。システム自体は正しい情報を提示していても手ぶれ等の理由で位置を見誤る可能性もある。これらに関しては手ぶれが誘発する情報誤表示に関する検討が必要である。また、表示されている情報を過信してしまう可能性もあるので、常に最新の正確な情報を提示する事の重要性を確認出来たので、情報の収集方法や、正しい情報を収集してデータベースに情報を補完するシステム図に関する検討も視野に入れる必要がある。

また、今回の評価実験においては照度やサーバの位置、システムの不慣れさによって発生する読み取り遅さや、それに伴うフラストレーションに関しての意見は少なかった。作業冒頭で初めてマーカを読み取る際は少し戸惑いもあったが、ユーザはすぐにデバイスに慣れ、作業を行なうことが出来た。一度読み取りが上手くいくと、その後のマーカ読み取りに特に障害は発生していなかった。その一方で、作業中に付箋を貼付する際、片手が塞がってしまい、最後の部分を目視で行なうか、目印を重畳させ続けながら作業を行い苦労している場面も確認出来た。被験者のコメントの中でも、両手を使って作業出来ると良い、作業中に片手が塞がる等といった意見があった。今回は普及率に伴い低コストで導入でき、複雑化

された情報を分かりやすく提示することが出来る可搬型端末であるタブレットを採用した。今回の様な必要情報の少ない作業においては、HMD に代表されるウェアラブルデバイスの使用も視野に入れる必要がある。ただし、今回の意見の中で、HMD を使用した場合で作業をしていてマーカ等が手で隠れて上手く表示されない可能性もあるので、タブレットの方がいいかもしれない、との意見もあったので、HMD 使用に関する検討はもちろん必要であるが、使用シーンや状況によってデバイスを使い分ける事が出来る様なシステム構成を検討していく必要もある。

今回の実験で新たに確認された問題として、視線の一致に関する問題があった。実験の際にカメラの読み込みを行った際に、今回は USB カメラで作業を行っていた影響もあるが、今自分がどのマーカを読み取っているのか分からない様子であった被験者を確認した。作業終了後に被験者に質問したところ、時折自分の見ている位置がどこなのかが分からず、何度確認したという回答を受けた。原因はカメラの読み取り位置と視線が一致していないことに問題がある。このような問題に対処するために視線のズレを少しでも軽減する策として、マーカを完全にオブジェクトで隠す事無く重畳するという方法もある。今回はオブジェクトによって瞬時に作業対象の機材であるかを確認するために、オブジェクトを立方体にした。しかし、オブジェクトが原因でマーカを確認することが出来なかった。これらを踏まえて、今後は視線のズレを解消する方法についても検討していく必要がある。

7.3.6 評価実験 B まとめ

評価実験 B では、情報機器管理初心者を対象に従来手法と本研究提案手法で、予備保守時における HDD 交換作業のシミュレーション作業を実施した。学習効果による作業時間の誤差をさけるために、5人ずつの2グループに分け、片方は前半に従来手法での作業を実施し、後半に研究で提案するシステムでの作業を実施した。なお、もう片方のグループはその逆である。今回も評価実験 A と同様に作業時間の計測、作業の正誤性、行動観察、インタビュー調査をおこなった。

実験の結果、評価実験 A と同様に本提案手法によって不安感が軽減したと 2/3 程度の人数からコメントを受けた。中には、機材の物理番号の位置を把握せずに

作業を行い、正しいHDDを特定出来た人が10名中3名いた。図7.8,7.9の結果やコメントから分析すると、本提案方式では不安感を軽減させ、作業の円滑性に寄与することが期待される。その一方で、情報を過信してしまい、仮に手ぶれ等の原因で正しい情報を誤った形で把握してしまった場合に、ミスを誘発する可能性もある。そのため、正しい情報を提示する方法に関する検討と手ぶれに関する検討が必要である。また、視線の一致に関する問題も確認出来た。システムをかざしてマーカを読み取って情報を提示させる際に、デバイスのカメラの位置と視線の位置が必ずしも同じであるとは限らない、その場合に視線のズレが発生し、それにより、今自分がどこのマーカを読み取っているのか分からない場合があった。この問題の解決策としてマーカの番号を確認出来る様な情報提示の検討を行なう必要がある。

第8章

結 論

本章では、本研究で提案するシステムに関する今後の課題と結論について述べる。

8.1. 結論

本研究は、ARを利用した情報機器管理システムの提案を行なった。情報機器管理の現場において、持ち主が異なる複数の情報機器が混在する場合がある。その際、情報機器の所有者と管理者が必ずしも同一であるとは限らない。従来の機材管理の現場においてはシールやタグを使用して管理されている。しかし、シールやタグを用いた情報伝達方式では、情報更新の際に手間がかかり、機材管理者の負担となる。この手間のために情報変更がなされない場合もある。それに加え、近年ではVMやクラウドの一般化により仮想的インフラ環境へと変化している事もあり、従来の機材管理方法では十分に対応出来ない。上記の問題点を踏まえ、本研究では物に内包する目に見えない情報をテキストデータとビジュアルデータを組み合わせて情報の可視化を試みた。従来の情報機器機材管理が抱える、作業上の間接的な情報伝達等によるミス、情報の更新履歴の不透明性、ヒューマンエラー等の問題を解決し、機材管理における作業円滑化に貢献することを目標としている。機材管理者の特定にはARマーカを用い、ネットワーク上にある管理データベースから最新の情報を取得し、映像上に重畳して表示を可能にする。更に、機材にまつわる情報の乖離を解決することにより、従来の機材管理システムでは非常に困難であった情報機器に関連する情報の補完とヒューマンエラーの防止を目標にした。ユーザに必要な情報や作業シーンの考慮を行なうため、実際に情報機器管理経験者へのインタビュー、ヒアリング調査を行なった。それらの情報をもとに

可読性のあるマーカを使用した機材判別，様々なカテゴリの情報を収集し，ユーザにとって必要な情報を情報表示し，動的に情報取得可能な情報機器管理システムの設計・実装を行なった．プロトタイプを用いた機能評価，ユーザ評価実験を通して，テキストとオブジェクトを活用した動的な情報提示，物理情報と仮想情報の一括提示を可能にし，初心者の不安感を軽減する事が出来た．今後本システムは情報機器管理における作業円滑化に貢献することが期待される．その一方で，読み取りに関する課題として，読み取りの際には室内光による読み取り時間の変動や，手ぶれや機材の慣れに関する問題を確認した．また，デバイスのタブレットを用いた手法では，様々な使用シーンに必要な情報を提示することには親和性があるが，作業中に片手が塞がってしまう問題も確認出来た．情報提示に関しても，権限委譲，情報収集方法等の課題について検討する必要がある．今後実用化を行なう際には，上記の点について考慮しこれらを解決する策を検討する必要がある．

8.2. 今後の課題

権限委譲に関する問題

AR マーカによって情報をグルーピング化し，人によって表示する情報を分けることが可能である．トラブル発生時に，最低限の情報しか取得することができない人が，サーバ管理者の代理として作業を行う可能性がある．その場合に一時的な権限委譲を行う必要がある．これに対する対応策としては次の2点の解決策が考えられる．一点目は権限の一時的な委譲を行うことができるエマージェンシモードを搭載させる方法である．最後に，管理者がリモートで現地側と画面共有を行うことで，権限を持っている人がリモートで認証を行い，その瞬間だけ権利の委譲する対応である．権限に関する問題に関しては，今後検討が必要である．

詳細情報収集に関する検討

今回はデータベースに情報のカテゴリごとに情報の管理を行い，それらの情報更新頻度に合わせて情報更新を行ない，最新の情報を提示した．一般的な情報機

器管理では、それらのカテゴリをそれぞれ外部ツールを用いて管理している事が多い。その場合に、外部ツールと連携してそれぞれの収集している情報を統合、ないしは通信して情報を取得することが必要である。それぞれのカテゴリ情報の収集に関するアルゴリズムに関して検討していく必要がある。

ウェアラブルデバイス使用に関する検討

今回は、コスト面開発の容易さ等の理由から、今回はタブレット端末を使用することを前提にシステムの設計を行なった。ただし、タブレットに関しては複数人に画面共有に適している反面、片手が塞がるという問題が指摘された。このような問題に関してウェアラブルデバイスを使用するという方法も考えられる。しかし、短時間での作業の場合はHMDでの表示の方が適しているが、複雑なエラー処理の場合は必要な情報が増加する。場合によってはかえって作業の邪魔となる可能性が高くなるまた、長時間の作業は難しいため、一概にはHMDの方が親和性が高いとは言えない。ウェアラブルデバイスに適した情報提示方法について検討すべきである。

更に、両方の表示デバイスの利点を生かし、例えば、情報機器の詳細な情報は画像の表示情報を固定する機能を拡張したタブレットに表示し、主にグラフィカルな情報をウェアラブルデバイスで表示するといった複数のデバイスを併用する方式も考慮が必要である。

詳細情報の表示方法

今回はサーバールームの管理者と機材使用者を対象としたシステムの提案を行ったが、機材管理者に関する情報のみならずクラウドやVM、他の機材との依存関係を表示すると、情報量が多くなり、より複雑化する。そのため、ARマーカを読み取り、適切に情報が表示されている場合でも、必要な情報を見つけるのに時間を浪費する可能性がある。今後は更なる表示画面の改善を行う必要がある。

謝 辞

本研究の指導教員であり，幅広い知見から，厳しくも優しい的確な指導や暖かい励まし，ご指摘を賜りました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の加藤朗教授に心から感謝いたします．加藤先生のご指導がなければ，こうして修士論文を完成させる事は出来ませんでした．

研究の方向性について様々な助言や指導をいただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の南澤孝太准教授に心から感謝いたします．

研究指導や論文執筆など数多くの助言を賜りました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の石戸奈々子准教授に心から感謝いたします．

研究の方向性に関する数多くの助言，励ましのお言葉や研究発表の機会を与えて下さった慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の砂原秀樹教授に心から感謝致します．

本研究を進めていくにあたり，様々な助言や指導をいただき，励ましの言葉を下された慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の山内正人特任助教に心から感謝いたします．

大学時代から様々なご指導と暖かいご支援を頂き，大学院進学への契機を与えて下さった慶應義塾大学メディアデザイン研究科の渡辺教子非常勤講師に心から感謝致します．

また，Network Media Project の皆様には大変お世話になりました．特に，本研究を進めるきっかけを下された西原政比彦氏，研究会発表の際に論文指導を頂いた影澤秀明氏，堀越朝氏，常に支え合い，共に研究を進めてきた同期である，今木彩翔さん，小川景子さん，北本亜由美さん，豊島有紀さん，野尻梢さん，デモ展示の際のサポートをしてくれた橋本真太郎君，山崎優佳里さんには心から感謝致します．皆様の暖かいご支援のお陰で，充実した研究生活を送る事が出来ました．

他の研究室ではありますが、論文執筆に関して様々なアドバイスと暖かいお言葉をいただいた上間裕二氏に心から感謝致します。そして、切磋琢磨して共に研究に励み、研究に関するたくさんの助言と意見を下さった青木透君、廣瀬雅治君を始めとする修士課程同期の皆様には公私ともに大変お世話になりました。同期の支えがあったからこそ、悔いの無い研究生活を送ることが出来ました。

そして、研究の方向性に関する様々な助言とご指導を頂きました WIDE Project の皆様に心から感謝致します。

ヒアリング調査や、フィールドワーク調査にご協力頂いた(株)IIJ イノベーションインスティテュート新居英明博士、東京大学情報理工学系研究科江崎浩教授、東芝 研究開発センター土井裕介博士、フィクスターズ國司光宣博士、さくらインターネット研究所松本直人上級研究員、株式会社 mokha 安東孝二代表取締役、情報通信研究機構参事 中村一彦氏、東京大学大学院情報理工学系研究科中村遼氏を始めとする情報機器管理経験者の皆様に心から感謝致します。また、評価実験を行なうにあたり、ご協力頂いた被験者の皆様に心から感謝致します。大変にお世話になりました。

最後に、大学院進学に深い理解と支援を頂いた家族の皆様に心から感謝致します。祖父母や両親の支えがあったからこそ、研究に励む事が出来ました。

上記の皆様を始めとするたくさんの方々のご支援のお陰で、充実した研究生活を送る事ができ、こうして修士論文の執筆を終える事が出来ました。誠にありがとうございました。

以上をもって謝辞といたします。

参 考 文 献

- [1] 三輪賢一. プロのための [図解] ネットワーク機器入門. 技術評論社, 2012.
- [2] NTTAT. 物品管理システム qpideal. http://www.ntt-at.co.jp/product/qpideal_web/, 2009.
- [3] 清野克行. 仕組みが見える ゼロからわかる 仮想化の基本と技術. 株式会社翔泳社, 2011.
- [4] 渡辺和彦, 法橋和昌, 沢村利樹, 池上竜之. ネットワーク仮想化 基礎からすっきりわかる入門書. 株式会社リックテレコム, 2013.
- [5] 野村祐士, 小川淳. Bk-5-1 仮想インフラを可視化する運用管理 (bk-5. 仮想ネットワークと管理技術の最新動向, ソサイエティ特別企画, ソサイエティ企画). 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, Vol. 2010, No. 2, pp. "SS-12"-"SS-13", aug 2010.
- [6] 平本純也. 知っておきたいバーコード・二次元コードの知識. 日本工業出版株式会社, 2006.
- [7] 佐野彰. AR 入門 [改訂版] ー身近になった拡張現実. 株式会社工学社, 2013.
- [8] 日経コミュニケーション編集部. AR のすべて ケータイとネットを変える拡張現実. 日経 BP 出版センター, 2009.
- [9] 小林啓倫. AR ー拡張現実. 毎日コミュニケーションズ, 2010.
- [10] 頓智ドット株式会社. セカイカメラ. <http://corp.tab.do/information/20131217/>, 2009.

- [11] The Sixwish project. Ar マーカーの基本. <http://sixwish.jp/AR/Marker/section01/>, 2005.
- [12] Sony CSL. Cybercode. http://www.sonycs1.co.jp/research_gallery/cybercode.html, 1996.
- [13] 暦本純一. 2次元マトリックスコードを利用した拡張現実感の構成手法. Workshop on Interactive Systems and Software(WISS'96) 論文集, Vol. 1, , 12 1996.
- [14] 加藤博一. 拡張現実感システム構築ツール artoolkit の開発. 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解, Vol. 101, No. 652, pp. 79–86, feb 2002.
- [15] Martin Kaltenbrunner and Ross Bencina. reactivision: A computer-vision framework for table-based tangible interaction. In *Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, TEI '07, pp. 69–74. ACM, 2007.
- [16] NyARToolkit project. Nyartoolkit project. http://nyatla.jp/nyartoolkit/wp/?page_id=55, 2013.
- [17] Saqoosha. Flartoolkit. <http://saqoo.sh/a/flartoolkit>, 2009.
- [18] Sergi Jordà, Günter Geiger, Marcos Alonso, and Martin Kaltenbrunner. The reactable: Exploring the synergy between live music performance and table-top tangible interfaces. pp. 139–146, 2007.
- [19] SONY. Smartar. http://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press/201105/11_058/, 2011.
- [20] Oculus VR. Oculus rift. <http://reactivision.sourceforge.net/>, 2012.
- [21] NEC. 物品管理システム smartasset. <http://it-trend.jp/commodity-management/4884#anchor02>, 2011.

- [22] FUJITSU. Press release (導入事例). <http://pr.fujitsu.com/jp/news/2014/05/12-1.html#footnote1>, 2014.
- [23] メタウォーター株式会社. Smart field service. https://www.metawater.co.jp/news/2013/1016_2.html, 2013.
- [24] 株式会社 KDDI 研究所. Vistafinder mx. <http://www.kddilabs.jp/press/2014/1119.html>, 2014.
- [25] 株式会社 KDDI 研究所. Vistafinder mx. <http://www.kddilabs.jp/products/audio/vistafinder/product.html>, 2014.
- [26] Cacti group Inc. Cacti. <http://www.cacti.net/>, 2004.
- [27] 國友美希, 山内正人, 加藤朗, 砂原秀樹. Ar を利用した機材管理システムの提案と評価. 情報処理学会研究報告. UBI, [ユビキタスコンピューティングシステム], Vol. 2014, No. 47, pp. 1-6, mar 2014.
- [28] 國友美希, 山内正人, 加藤朗, 砂原秀樹. 使用シーンを考慮した機材情報表示システムの提案. マルチメディア、分散協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集, Vol. 2014, No. 1278 - 1283, 7 2014.

付 録

A. 予備実験に使用した AR マーカー一覧

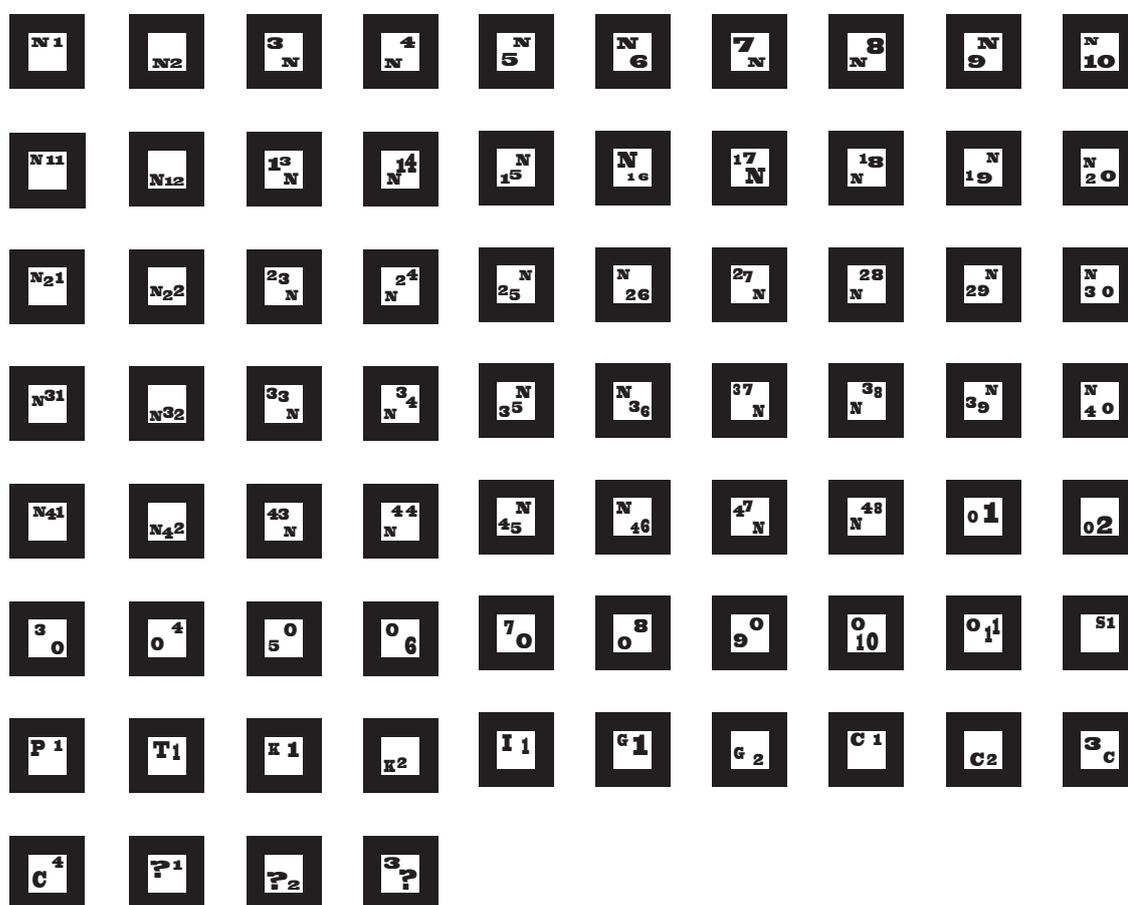


図 8.1: AR マーカー一覧

B. データベーススキーマ

表 8.1: テーブル user_info の構造

カラム	データ型	NULL	デフォルト値	コメント
user_id	int(11)	いいえ		
user_name	text	いいえ		
user_create	timestamp	いいえ	CURRENT_TIMESTAMP	

表 8.2: テーブル MGST の構造

カラム	データ型	NULL	デフォルト値	コメント
status_change	timestamp	はい	NULL	
cpu_temp_1	float	はい	NULL	
cpu_temp_2	float	はい	NULL	
cpu_temp_3	float	はい	NULL	
cpu_temp_4	float	はい	NULL	
cpu_temp_5	float	はい	NULL	
cpu_temp_6	float	はい	NULL	
cpu_temp_7	float	はい	NULL	
cpu_temp_8	float	はい	NULL	
system_workload	float	いいえ		
power_1	int(11)	はい	NULL	
power_2	int(11)	はい	NULL	
power_3	int(11)	はい	NULL	
power_4	int(11)	はい	NULL	
time	timestamp	いいえ	0000-00-00 00:00:00	
fan_speed_1	int(11)	はい	NULL	
fan_speed_2	int(11)	はい	NULL	
fan_speed_3	int(11)	はい	NULL	
fan_speed_4	int(11)	はい	NULL	

fan_speed_5	int(11)	はい	NULL	
fan_speed_6	int(11)	はい	NULL	
fan_speed_7	int(11)	はい	NULL	
fan_speed_8	int(11)	はい	NULL	
fan_speed_9	int(11)	はい	NULL	
fan_speed_10	int(11)	はい	NULL	
fan_speed_11	int(11)	はい	NULL	
fan_speed_12	int(11)	はい	NULL	
fan_speed_13	int(11)	はい	NULL	
fan_speed_14	int(11)	はい	NULL	
fan_speed_15	int(11)	はい	NULL	
fan_speed_16	int(11)	はい	NULL	
fan_speed_17	int(11)	はい	NULL	
fan_speed_18	int(11)	はい	NULL	
fan_speed_19	int(11)	はい	NULL	
fan_speed_20	int(11)	はい	NULL	