

博士論文

人の感性に着目したスマートデバイスによる
センシング方式の研究

公立ほこだて未来大学大学院
システム情報科学研究科 システム情報科学専攻
城ヶ崎 寛

2017年3月

Doctoral Thesis

Emotion-focused methodology for smart device sensing

By

Hiroshi JOGASAKI

Graduate School of Systems Information Science
Future University Hakodate

March 2017

Outline

The Internet of Things (IoT) has been receiving a lot of research and development interest, and attempts are being made for its standardization. IoT-related projects begin with the collection and storage of data, move to the investigation and recognition of the current status of the field, and then to optimization and prediction of future trends. One of the current problems is the unpopularity of the low-cost sensors and terminals used in IoT devices. To address this problem, researchers are investigating “participation sensing,” wherein smart devices are used as sensors or network devices in place of legacy sensing devices. However, big-data participation sensing becomes relevant only when the number of people involved attains a critical mass. This requires some type of benefits to be offered. One potential benefit is the development of participation sensing using smart devices that are able to sense text data using the human senses of sight, hearing, taste, smell, and touch, or by judging the user’s intentions. Until now, the power limitations of smart devices have made this impossible to achieve. Current progress in extending the functionality and capabilities of smart devices makes it possible to address such demands. By gathering more meaningful data, Japan’s IoT project can move from the data collection stage into the visualization and optimization phase. The term “individual participation sensing” has been used in this paper to represent the approach of this research to address this demand

The detailed proposal is as follows. Two data gathering areas are proposed: sensing across a traditional wide area and sensing within a new narrow area that is making its appearance after a sharp increase in the usage of smart devices. Data from narrow area sensing will soon become big-data. The first target user is a wheelchair-bound subject, who is able to manipulate smart devices using a keyboard. This is addressed via wide-area sensing using smart devices. The second target user is a participant in a meeting using text data within a narrow area and sharing information through smart devices.

Our initial proposal is the “methodology for visualization of wheelchair riding comfort using vibration signals from the road surface.” The proposed methodology captures vibration level data from the sensors of the smart device to assess the unevenness of the road surface and uses a visualization method for setting the comfort level of each individual. A proposed prototype system gathers data from the accelerometer and GPS system of the smart device and uses this data to visualize the uneven road surface.

The second and third proposals are “grouping methodology in the narrow area” and “individual participation sensing in the narrow area,” respectively. In the second proposal, infrastructure technology is used to collect raw text data from a small meeting having fewer than ten participants, in which dynamically occur at the given short periods not at the ordinary equipped meeting room but at the narrow area. In the third proposal, the developed application ensures confidentiality, thereby allowing it to record opinions from the meeting and hold these in a secure manner until an official announcement is made. Each person attending the meeting will have a possibility of being evaluated by feeding the meeting data into a human evaluation or auditing system.

Using data gathering, storage, and visualization, individual participant sensing has been investigated into a one-to-one suggestion system. This can contribute meaningful data handling to the IoT-tracked human life and can help people enjoy the sensitivity-rich lifetime.

Keywords: Internet of Things, participation sensing, smart device, narrow area, emotion

要旨

現在世界中において IoT (Internet of Things, もののインターネット)分野で、研究開発が盛んであり、標準化に向けた取り組みも実施されている。IoT は、データを収集・蓄積することから始まり、現状の可視化・把握、将来の予測そして最適化というサイクルで分析される。現在の日本における IoT 進展の課題の一つに低価格なセンサ・端末が普及していないということがあり、一般に普及してきたスマートデバイスをユーザ自身持ち歩くセンサとして活用することである「参加型センシング」による解決が図られ、研究が盛んにおこなわれている。「参加型センシング」による大量データ入手のためには、多数の参加者の利用があつて初めて有効となる。このためには、参加者がセンシングに参加する動機が必要であり、個々の参加者にフィードバック可能な（利益のある）センシングシステムの実現が必要と考えた。これまでの参加型センシングでは、スマートデバイスの処理能力の限界もあり、専用型センサやネットワークの代わりにスマートデバイスに組み込まれたセンサやネットワークを活用する利用が主流であった。しかし近年のスマートデバイスの多機能化、処理能力の飛躍的な向上により、センサやネットワークの活用に加えて、デバイスの所有者でユーザである各個人の五感（見る、聞く、かぐ、味わう、触れる）や意思、評価への個別対応まで配慮することが可能となった。この特性をうまく生かし個々のニーズに応えることができれば、より積極的に参加者をつのることが可能となる。多くの IoT プロジェクトがデータの収集・蓄積フェーズでとどまっている状態を打破し、現状の可視化そしてさらには最適化のフェーズに取り組むことができるよう、参加型センシングに個別対応の視点を取り入れた。本研究では新たなセンシング領域として「個別対応参加型センシング」に着目している。

本研究における提案範囲として、IoT のセンシング類型を従来からの広域エリアとスマートデバイスの普及で活用が顕在化してきた 10 名程度が顔の識別可能な範囲で集まれるスペースである、狭域エリアとに分類した。狭域エリアでのセンシングで生じるデータは近い将来ビッグデータ化するものとする。広域エリアでセンシングし、スマートデバイスの操作も可能な車いすユーザと、狭域エリアでの少人数の会議で、意見をテキストデータで入力し情報共有をス

スマートデバイスで実施するユーザを対象に考えた。

最初に、「車いすユーザの快適性可視化方式」では、広域エリアセンシングの1例として車いすの振動をスマートデバイスでとらえてユーザの乗り心地をユーザからの快適性の感性情報入力により個別に可視化しガイドするための技術要件を抽出した。この要件により車いすユーザの利用する路面の凹凸データの収集とその路面に対するユーザごとの悪路情報を可視化する方式を提案した。

次に、「狭域エリアセンシングの基盤技術」および「狭域エリアの新しい個別対応情報共有方式」では、設備の整った会議室ではなく、狭域エリアで動的に実施される少人数の会合において、これまで会合への参加資格を簡便に確認したうえで、会議に必要な情報を共有し、かつ生データを収集することが難しかった会議内容のデータを収集するためのグルーピング方式を提案した。また秘匿性と評価の可能なアプリケーションを提供し個人個人の感性情報を入力することにより、会議の発言を活性化したり、自信のない発言を意見集約の過程を通じて公式化できたりすることを可能とした。将来の発展の方向性として、各個人にとっては、自分の習熟度の成長の過程の把握ができ、成長目標を他人との比較で客観的にイメージできるようになる可能性や、組織側としてはセンシングデータが人事評価対象の一部のとして取り入れられる可能性等が考えられる。

以上の広域および狭域の二つの新しい領域での、データ収集・蓄積・可視化方式の提案および実証実験を通じて、一人ひとり個別に対応する参加型センシングに関する知見が得られた。これらの知見を通じて個人に対応する参加型センシングを活用したIoTプロジェクトにより社会的に意味あるデータの収集・蓄積・可視化そして予測・最適化につなげ、人の感性豊かな生活に対して寄与することができれば幸いである。

キーワード Internet of Things, 参加型センシング, 狭域エリア, スマートデバイス, 感性情報

目次

第1章 はじめに	1
1.1 研究の背景.....	1
1.1.1 IoTの進展.....	2
1.1.2 ビッグデータ解析への期待.....	5
1.1.3 狭域エリアセンシング.....	11
1.2 論文の構成.....	13
第2章 「参加型センシング」の重要性	15
2.1 「参加型センシング」の重要性.....	15
2.2 「参加型センシング」の類型.....	17
2.2.1 センサネットワーク技術.....	17
2.2.2 参加型センシングの分類.....	20
2.2.3 参加型センシングの4類型.....	27
2.2.4 詳細検討の対象の明確化.....	29
第3章 「参加型センシング」の関連研究と課題	30
3.1 「参加型センシング」のインセンティブに関する関連研究.....	31
3.2 「参加型センシング」のアーキテクチャに関する関連研究.....	31
3.3 広域エリアセンシングの関連研究と課題.....	33
3.3.1 広域エリアセンシング「車いすユーザの快適性可視化方式」の要件.....	33
3.3.2 広域エリアセンシング「車いすユーザの快適性可視化方式」の関連研究.....	33
3.4 狭域エリアセンシングの関連研究と課題.....	38
3.4.1 狭域エリアセンシングのグルーピング方式の通信要件とセキュリティ要件....	38
3.4.2 狭域エリアセンシングのグルーピング方式の関連研究・事例.....	40

第4章 「参加型センシング」の課題へのアプローチ	44
4.1 「参加型センシング」のインセンティブに関する課題に対するアプローチ	44
4.2 「参加型センシング」のアーキテクチャに関する課題に対するアプローチ	44
4.3 広域エリアセンシングに関する課題へのアプローチ	45
4.4 狭域エリアセンシングの課題へのアプローチ	46
4.5 本研究の目的及び目標	47
第5章 広域エリアセンシングの1例である、車いすユーザのための快適性可視化方式の提案	48
5.1 車いすユーザのための快適性可視化方式の提案の背景	49
5.2 車いすユーザのための快適性可視化方式の提案方式	51
5.2.1 提案方式の概要	51
5.2.2 悪路情報の可視化	53
5.3 車いすユーザのための快適性可視化方式の実証実験	58
5.3.1 実験内容	58
5.3.2 インタビュー結果	63
5.3.3 シミュレーション結果	65
5.3.4 考察	69
5.4 車いすユーザのための快適性可視化方式の提案のまとめ	70

第 6 章 狭域エリアセンシングの基盤技術と新しい個別対応情報共有方式の提案	72
6.1 狭域エリアセンシングの基盤技術と新しい個別対応情報共有方式の提案の背景 ...	73
6.2 狭域エリアセンシングの基盤技術の提案方式	74
6.2.1 狭域エリアにおけるグループ認証方式	77
6.2.2 狭域エリアにおける通信方式	82
6.3 狭域エリアセンシングの基盤技術の実証実験	84
6.3.1 実証実験の内容	84
6.3.2 実証実験の詳細	85
6.3.3 実証実験の評価結果	88
6.4 狭域エリア新しい個別対応情報共有の提案方式	92
6.5 狭域エリアの新しい個別対応情報共有方式の実証実験	93
6.5.1 実証実験システム構成	93
6.5.2 「新しい個別対応情報共有方式」の模造紙アプリ実装	95
6.5.3 実証実験の詳細	97
6.5.4 実証実験の評価結果	98
6.6 狭域エリアセンシングの基盤技術と新しい個別対応情報共有方式の実証実験に関する考察	102
6.7 狭域エリアセンシングの基盤技術と新しい個別対応情報共有方式の提案のまとめ	104
第 7 章 おわりに	105
謝辞	108
参考文献	110
研究実績	118

目次

図 1-1 IoT・ビッグデータ・AIが創造する新たな価値（「広義のIoT」のイメージ図：総務省平成28年度情報通信白書より）	2
図 1-2 世界のIoTデバイス数の推移及び予測(平成28年度情報通信白書より)	3
図 1-3 ビッグデータ誕生の背景と本研究の位置づけ	7
図 1-4 アナリティクス・プロセス	9
図 1-5 データ利用の課題	9
図 1-6 広義のIoTと狭義のIoT	10
図 1-7 参加型センシングの種類	14
図 2-1 日本におけるIoT普及の阻害要因（平成28年情報通信白書）	16
図 2-2 「センサーネットワークの現状」平成28年3月総務省電波政策2020資料	18
図 2-3 国内IoT市場の伸び	18
図 2-4 センサの製品カテゴリー別構成比	19
図 2-5 参加型センシングの製品1（ヤグチ電子工業の放射線量計）	21
図 2-6 参加型センシングの情報共有サイト「測ってガイガー」	22
図 2-7 参加型センシングの製品2（フランスNetAtmo社の気温・湿度計「ウェザーステーション」）	23
図 2-8 NetAtmo社製品を利用した参加型センシングの「ウェザーマップ」	23
図 2-9 ウェザーニュース社の気象情報アプリ	24
図 2-10 参加型センシングの適用サービス類型	28
図 3-1 Deborah Estrin の提案アーキテクチャ	32
図 3-2 段差の大きな歩道	34
図 3-3 建設中の歩道	34

図 3-4	老朽化し塗装のはがれた歩道	35
図 3-5	測定路面のブロック配置と進行方向.....	35
図 3-6	舗装タイル付き歩道	36
図 4-1	Deborah Estrin の提案アーキテクチャに感性情報入力を追加した図	45
図 5-1	広域エリアセンシング	48
図 5-2	提案方式全体図	52
図 5-3	スマートフォンの加速度値	53
図 5-4	スマートフォン上のデータ収集用画面.....	54
図 5-5	データ処理部(収集).....	55
図 5-6	データ処理部（解析）	56
図 5-7	スマートフォン上のデータ表示部.....	57
図 5-8	実験環境	59
図 5-9	テストボードの 1 例.....	59
図 5-10	鉛直方向の加速度生データ	60
図 5-11	鉛直方向の加速度データの 4 点移動平均.....	61
図 5-12	単純化したグラフ	61
図 5-13	主成分分析散布図	64
図 5-14	大学の玄関口からバス停までの経路.....	65
図 5-15	シミュレーションによりプロットされたデータ	66
図 5-16	凹凸の激しい歩道	66
図 5-17	地点 1 の最大値および最小値.....	67
図 5-18	地点 2 の最大値および最小値.....	67
図 5-19	地点 3 の最大値および最小値.....	68
図 5-20	道路わきの歩道①②	71

図 6-1	狭域エリアセンシング	73
図 6-2	従来の遠隔地間と狭域エリアの基盤技術の違い.....	74
図 6-3	端末内機能構成図	75
図 6-4	グループ認証のシーケンス	77
図 6-5	認証画面	79
図 6-6	グループ形成における状態遷移	80
図 6-7	ブロードキャストによる端末・認証情報通知.....	83
図 6-8	人物識別実験実施状況(実験 1).....	85
図 6-9	実験 2 の入力画面.....	88
図 6-10	被験者が人物を特定するのに要した時間(実験 1).....	89
図 6-11	実験 2 の操作に要した時間.....	90
図 6-12	実験 3 のシステム構成概要図.....	94
図 6-13	端末ソフトウェア・モジュール構成図.....	96
図 6-14	模造紙画面(みんなのメモ).....	98
図 6-15	ディスカッションの方法	99
図 6-16	グループディスカッションログ分析図.....	101

表目次

表 2-1	センサの製品カテゴリーと個別センサ.....	20
表 3-1	広域エリアセンシング関連研究の利点・欠点.....	38
表 3-2	狭域センシング関連研究・事例の要件の適合・不適合.....	43
表 4-1	広域エリアセンシング関連研究の課題に対する提案方式の対応.....	46
表 4-2	狭域エリアセンシング関連研究の課題に対する提案方式の対応.....	46
表 5-1	サーバに蓄積されるデータ	54
表 5-2	DB に格納される値.....	56
表 5-3	インタビューの方法	64
表 5-4	実際の加速度データ	68
表 6-1	従来と狭域エリアでのネットワーク構成の比較.....	76
表 6-2	ログの意味	100

第1章 はじめに

本章では、本研究の対象であるスマートデバイスによるセンシング方式、「参加型センシング」に関する研究が盛んとなってきている背景である、モノのインターネット(IoT: Internet of Things)の進展、ビッグデータ分析への期待について論ずる。続いて、スマートデバイスの登場によって急速に活用が始まっている狭域エリアセンシング(10名程度の集団で顔の判別可能な場所でスマートデバイスを用いて情報共有する際に発生する主としてテキスト・画像情報のセンシング)について説明する。そしてスマートデバイスによるセンシングを類型化し、本論文の構成について述べる。

1.1 研究の背景

本研究の背景には、第4次産業革命を引き起こすといわれる広義のIoTの進展がある。IoTの進展がビッグデータを生じさせ、ビッグデータを必要とするAIの進化が人間の活動の生産性を劇的に向上させようとしている。AIはビッグデータの分析が必要であり、その元となるデータは各種センサデバイスからのセンサデータ、人手による業務システム内での業務データやTwitter, Facebookなどのソーシャルデータである。本論文では、「広義のIoT」とは「デジタル・データで現実世界をとらえ、可視化分析して課題解決する仕組み」と定義する。

「広義のIoT」の進展の結果、ビッグデータと呼ばれる大量のデータの利活用が進み、大量のデータをもとにAIが人間に代わって分析し、人間に代わって制御することによって、ヘルスケア分野や工場分野、自動運転分野などで生産性が劇的に向上し、医療費拡大や労働力不足、資源枯渇や介護負担増大といった社会的課題の解決に大いに役立つことが予測されている[1] (図1-1)。

以降で、IoT、ビッグデータ、狭域エリアセンシングと本研究との関連について説明する。

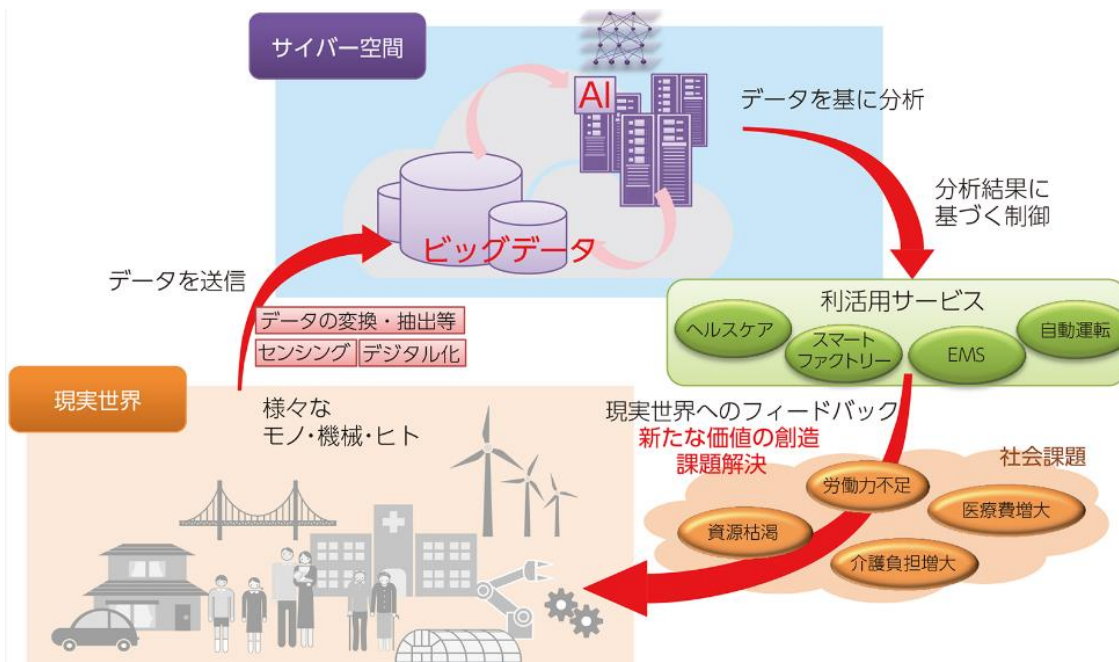
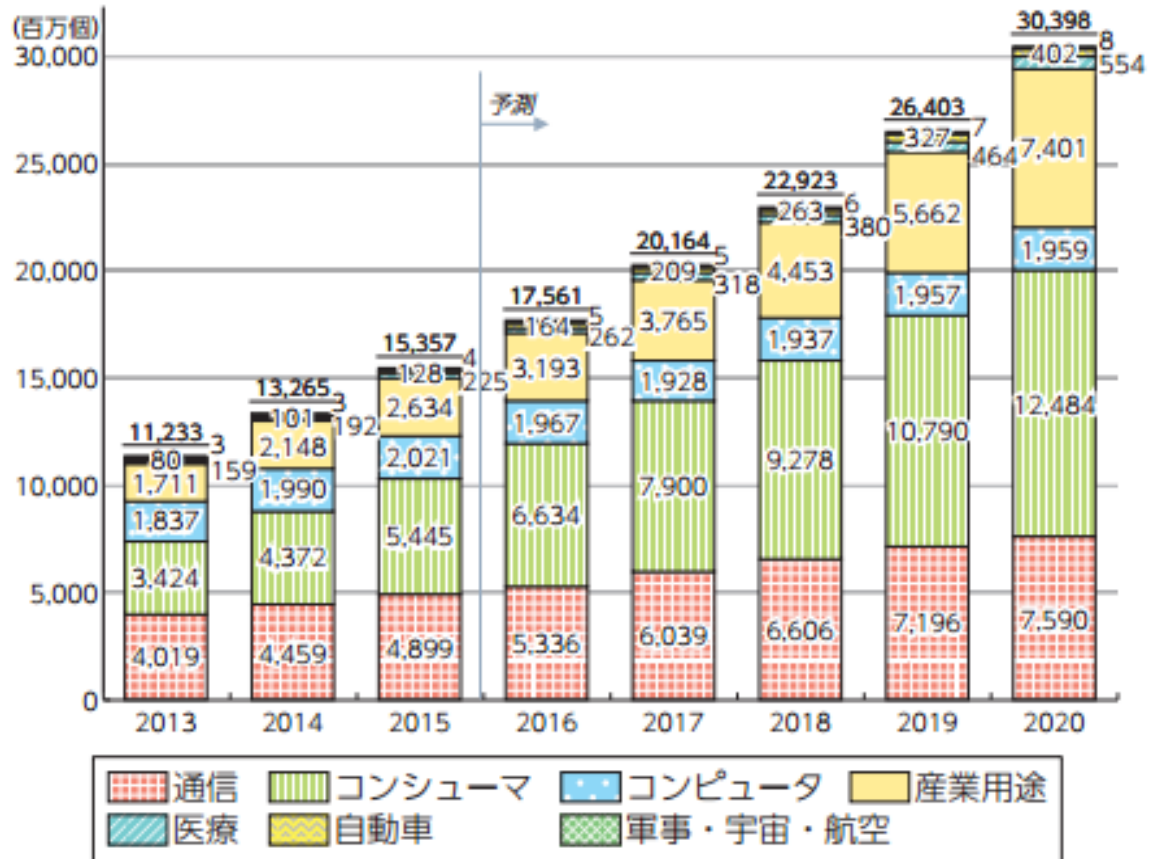


図 1-1 IoT・ビッグデータ・AIが創造する新たな価値（「広義のIoT」のイメージ

図：総務省平成 28 年度情報通信白書より）

1.1.1 IoTの進展

現実世界でのモノやモノの一部である PC やスマートデバイス上の業務システムやソーシャルシステムからのデータがネットワークを通じて大規模に融合することで新たな価値が生まれる。この部分をモノのインターネット (IoT:Internet of Things) と呼ぶ。米国ガートナー社によれば、IoT とは「物理的なもの（物体）のネットワークであり、物体には、自らの状態や周辺環境をセンシングし、何かしらの作用を施す技術が埋め込まれている」と定義されている[2]。IHS Technology 社の予測[3]では 2020 年に 2015 年時点の約 2 倍の 300 億個を超えるモノがつながり、そのうち 20 億個は PC やスマートフォンなどのパーソナルデバイスで、残り 280 億個は、車や工場、医療分野、家庭の照明等といったあらゆる機器となる(図 1-2)。



(出典) IHS Technology

図 1-2 世界の IoT デバイス数の推移及び予測(平成 28 年度情報通信白書より)

IoT では膨大なリアルタイムのデータを収集することによって、これまで経験で培ってきた人の直感で把握してきた事実をデータ分析で把握することができるようになる。この直観からデータ分析に移行する際にサンプルデータによる実験が必要であり、IoT の専門家でない経験者の英知を暗黙知(implicit knowledge)から形式知(explicit knowledge)に変換する必要がある。

広義の IoT の技術は産業・事業活動分野、日常生活・人間活動分野、社会・公共活動分野まで幅広く適用可能である。自動車関連産業・社会の事例を通じてその具体像を見てみる。

自動車の場合には、自動運転という自動車自身の個別最適化と、社会交通システムの全体最適化の二つのテーマが存在する。最終的には災害時の減災や交通事故の低減、環境負荷の低減など社会システムの全体最適化に寄与する。

道路交通の具体的な適用例としては、運行量に合わせて信号機の点灯を調整したり、交通量に合わせて中央線を移動したり、他の自動車と協調して速度調整したりすることにより渋滞を回避できるようにすることが可能となる。また事故発生時には、バスの運行を優先させて、移動手段を確保することもできる。

一方自動運転車は、車自体に前方・後方・車上前方・車上後方にレーダーおよびカメラを搭載し、側面にもカメラを搭載して、ステアリング ECU やエンジン ECU そしてブレーキ ECU などに指令を出すことが可能な機能を搭載している。車同士の自動通信も可能とする無線装置を搭載し、常時ネットワークに接続され、これまでになかった自動運転技術や自動駐車場発見駐車技術などに応用可能な技術を搭載している。

1.1.2 ビッグデータ解析への期待

ビッグデータという用語は 2011 年の米国マッキンゼーの論文[4]により大きく注目された用語である。この論文によるとビッグデータは、「典型的なデータベースソフトウェアの格納・管理・分析能力を超えるサイズのデータセットのことである」と定義されている。

コンピュータ周辺技術の急速な技術発展により、(1)プロセッサの処理能力は低価格で高性能化した。(2)ストレージの容量は低価格化で増大[5]し、(3)大量データを扱うことのできる Hadoop や NoSQL などのソフトウェア技術が進展した。Hadoop 技術[6][7]とは、大規模データを効率的に複数のサーバに分散して処理するために開発された分散ファイルシステム GFS(Google File System)[8]や分散ロックシステム Chubby[9]、並列プログラミングモデルの Mapreduce[10]、キーバリュー型データストアの BigTable[11]、並列ログ解析用プログラミング言語 Sawzall[12]などのオープンソースソフトウェアツールセットとフレームワーク(open-source software tool set and framework)である。なおオープンソースソフトウェア(OSS)とはソフトウェアの設計図に当たるソースコードを無償で公開し、ソフトウェアの改良、再配布などの細かい条件を取り決めて幅広いユーザに普及することを意図したソフトウェアのことである。また伝統的な RDBMS でビッグデータを効果的に貯蔵・管理しようとする問題が生じる。この問題点を解決する手段として NoSQL (Not only SQL) [13][14]が開発された。RDBMS が業務システムの提携データを扱うのに適しているのに対して、NoSQL はセンサやソーシャルメディア等の非定型データを大量に扱うのに適している。NoSQL 技術を採用している製品としては OracleNoSQL, MongoDB, Casandra, Riak などが有名である。

この三つの原因により、ビッグデータを扱えるようになった(図 1-3)。これにより業務システムで発生する「構造化データ」のみでなく、急速に普及・進展したモバイルコンピューティングや IoT により、ソーシャルシステムからのテキスト・動画・画像データや機械などに取り付けられるセンサからのリアルタイムの大量のデータがクラウド上に収集・蓄積されることにより、多種で大

規模だが形式が整っていない「非構造化データ(unstructured data)」が「構造化データ(structured data)」以上にリアルタイムで蓄積されて増大し、ビッグデータとなった。

ビッグデータは大きく四つの要素を特徴としている。いずれも英語の V で始まることから「4V」などとも呼ばれる。

Volume : データ量の増加

Variety : データ種類が生活要素のデジタル化により多様化

Velocity : 利用者の反応を取得する速度・頻度の向上

Veracity : データ群の中の矛盾や不確実性を排除した正確性

データ量の観点では、米国の調査会社 IDC によると 2012 年時点で、世界中のデータ量は 28ZB(ゼタバイト 1,000EB \div 1ZB) 存在し 20 年後には 40ZB に達するといわれている[15][16]。一般的には非構造化データは構造化データの 4 倍以上は存在するといわれている。企業内では電子メールデータやブログ、SNS データなどのやり取りデータである非構造化データがデータ全体の約 80%を占めている。IBM 社の発表によれば 2015 年現在世界全体で日々約 25EB(エクサバイト)のデータが蓄積されている[17]。

データの多様性の面では、これまでの情報処理技術の延長線上にある、構造化データの量が増えたのではなく、Facebook や Twitter, Instagram や Snapchat などのソーシャルメディア分野のコンシューマ IT 分野でテキストや写真、動画、音声などのさまざまな非構造化データの蓄積により爆発的に増加してきている。

また速度的な面でも、数値データやテキストデータのセンサ機能を内包し、通信機能を持つスマートデバイスの世界的な大量普及により、大量データが瞬時に通信で集められる環境が整いつつある。

正確性に関しては、全体のデータ量が少ない場合、不正確なデータが少量混在すると、全体のデータの真実性に大きく影響するためにひとつひとつの取得データに、正確性が求められる。ビッグデータでは集められるデータ量が多種

多様で量が多いために、少々不正確なデータが混じっても、偏った情報ではなく真実性の高い分析が可能となっている。

本研究はビッグデータ利活用のための多様なセンサデータの収集と可視化・分析分野に位置づけられる。本論文で論じる方式では、これまで本格的に検討されてこなかった、五感(視覚, 聴覚, 嗅覚, 味覚, 触覚)や意思, 評価などの感性情報をセンシングされたデータとともに、ビッグデータとしてとらえることを提案する。この方式を「感性情報入力センシング」と名付け、これ以外のセンシングを「感性情報レスセンシング」とする。感性情報入力センシングにより、個別対応可能な参加型センシングにつなげることを可能とする。

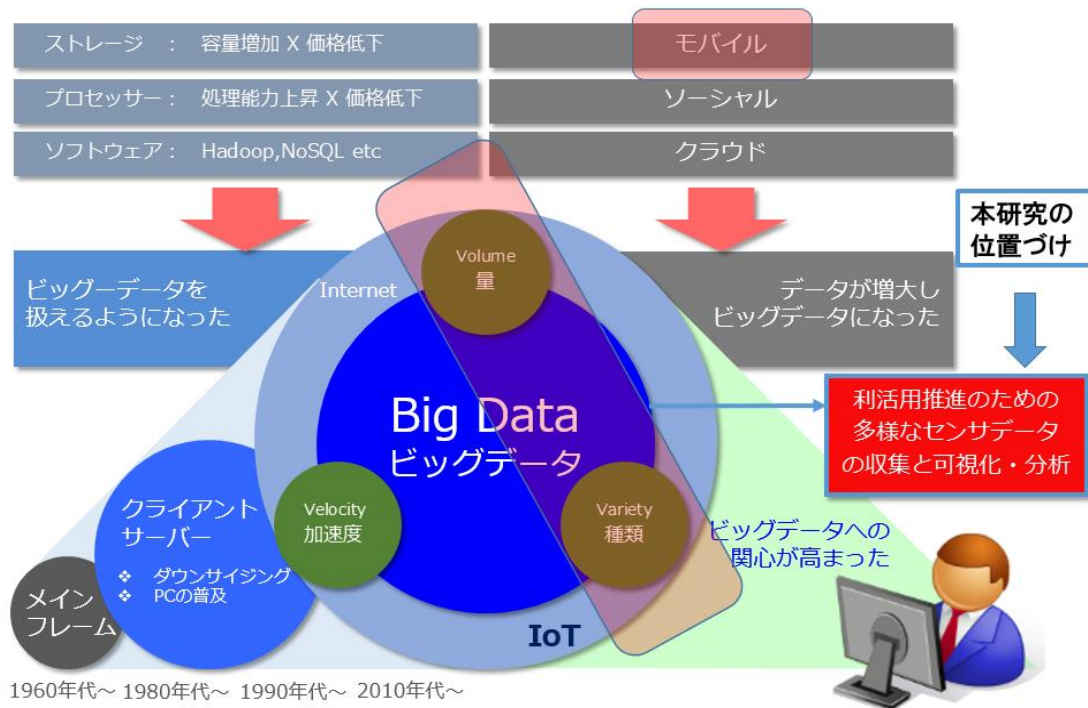


図 1-3 ビッグデータ誕生の背景と本研究の位置づけ

こうしたビッグデータの活用により、事業者においては以下のような効果が得られることが期待されている[18].

- (1) 製品開発において消費者に訴求する開発製品の予測が可能となる
- (2) 販売促進において誰に、何を、いつ販売すれば良いかわかる
- (3) 機械保守では、いつどのような保守作業を実施すればよいかわかる
- (4) コンプライアンス的に不正の予兆や注視すべき事象がわかる
- (5) 社会インフラの運用においてコスト削減が可能となる

本研究はビッグデータ分析において、個々のユーザに対応した将来を予測するために現状のデータを効果的に収集するための研究である。

アナリティックス（データの利活用）のサイクルは、(1) データの収集・蓄積フェーズからはじまり、(2) 現状の分析および可視化フェーズに移行する。次に(3) 将来の予測・最適化をするフェーズに移行し(4) 再度検証・評価するプロセスに至る(図 1-4)。実際には収集・蓄積されたデータからどのように現状を分析し、可視化すればよいかを実施するフェーズで行き詰る事例も多い[19]。平成 26 年に総務省が企業の 1000 名にアンケートをとった結果[20]によると、データ利用における課題について尋ねたところ、「データの利用による費用対効果が分かりにくい」、「データが散在していて分析できない・しにくい」、「分析・利用できる体制が社内がない」、「どのように利用してよいかわからない」、「データの分析・利用に費用がかかる」といった回答が上位を占めた(図 1-5)。

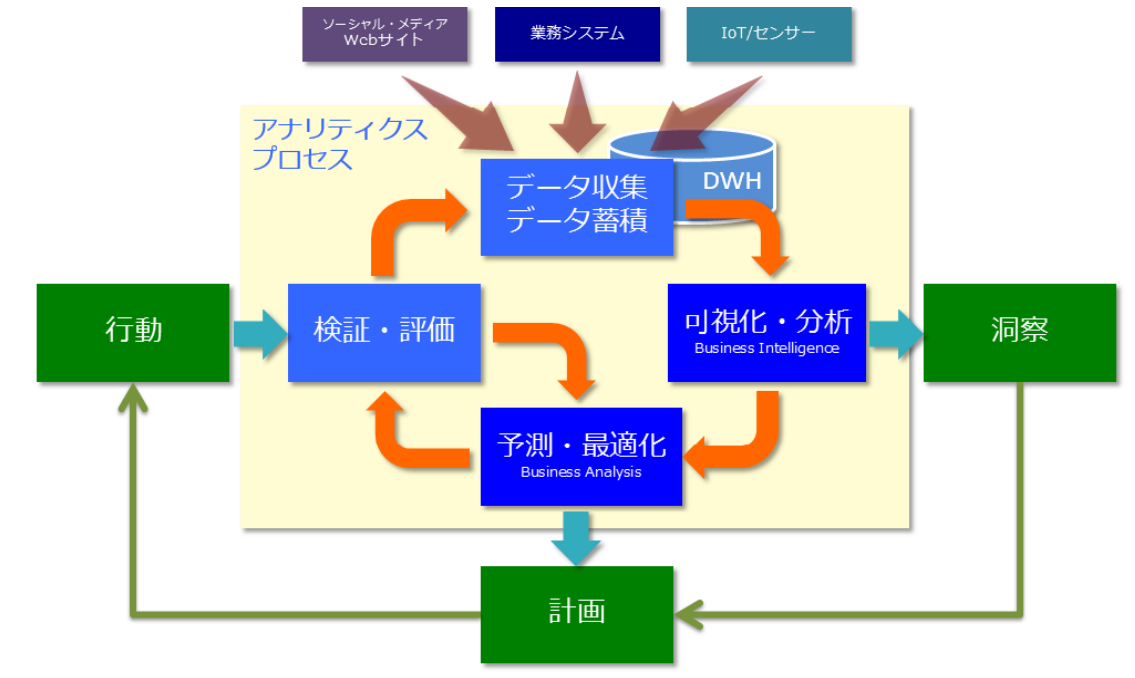


図 1-4 アナリティクス・プロセス

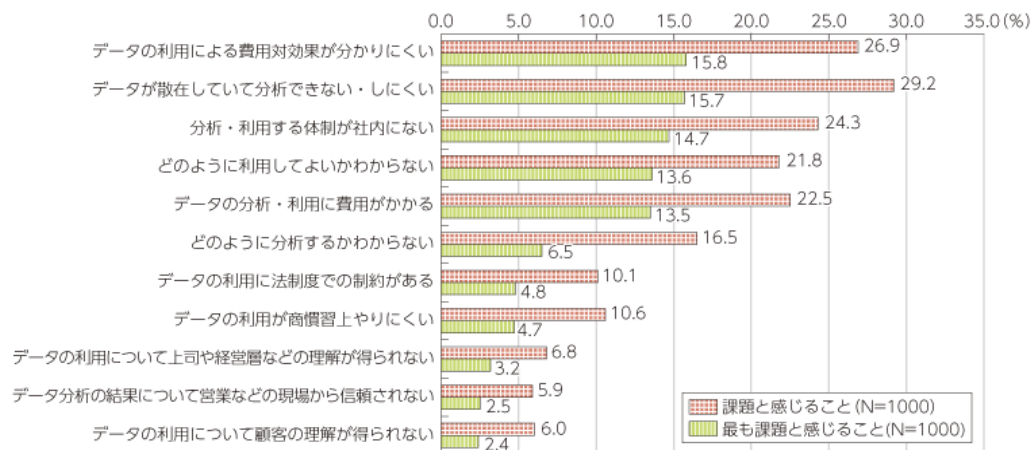


図 1-5 データ利用の課題

課題を整理してみると、いずれもデータを分析するために高度な人材を必要とし、その効果測定が難しいことが判明している。つまりデータは収集・蓄積できても、それを分析・可視化するのが難しいということになる。

本論文では「狭義の IoT」を「現実世界の出来事をデジタル・データに変換しネットに送り出す仕組み」ととらえる(図 1-6)。本研究は、「狭義の IoT」において分析・可視化するのが難しいという課題を、個々のユーザに個別対応することにより解決しようとする研究である。

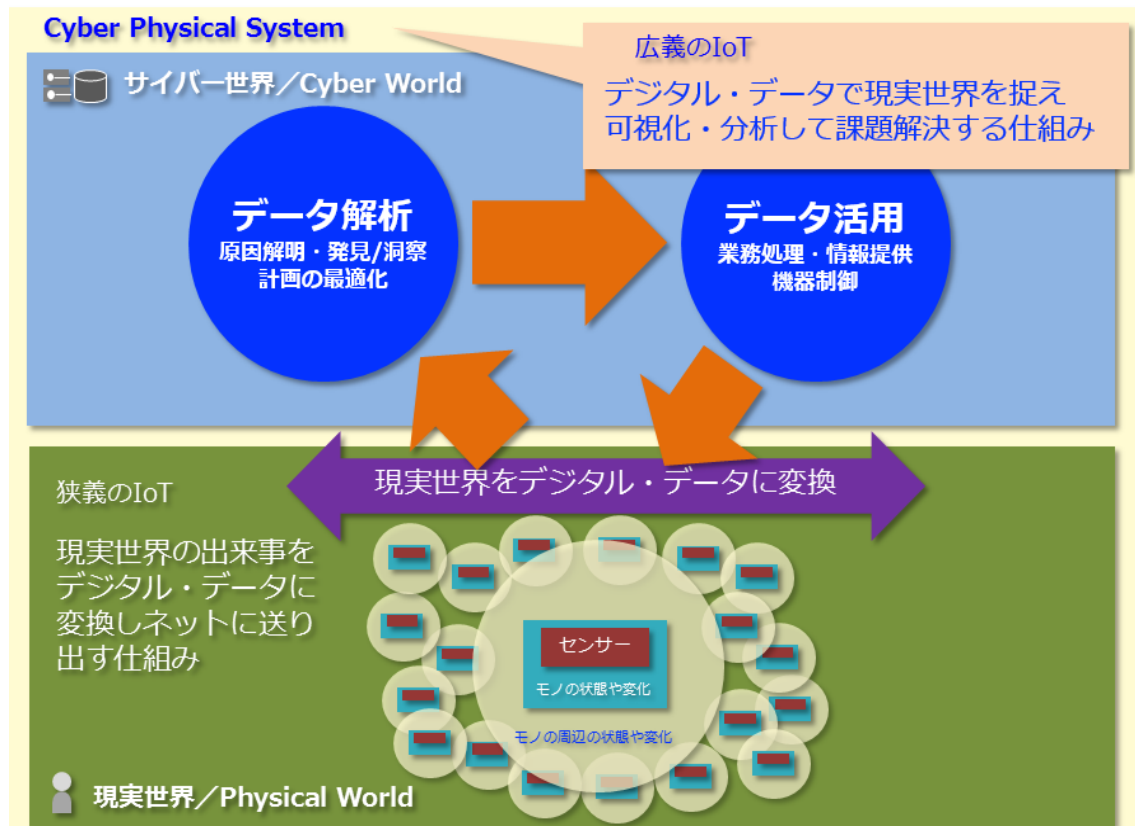


図 1-6 広義の IoT と狭義の IoT

1.1.3 狭域エリアセンシング

本論文は、スマートデバイスの登場によって ICT(Information & Communication Technology)活用領域として新しく登場した「狭域エリア」を対象とする。狭域エリアとは 10 名程度までの人数で、相手の存在を確認できる距離で集まれる場所と定義する。会議室のような設備の整っていない場所となる。狭域エリアでのデータ収集が「狭域エリアセンシング」であり、それ以外は「広域エリアセンシング」である。狭域エリアセンシングは新しい分野であり、従来技術の発想によらない新しい基盤技術が必要である。本研究ではこの基盤技術を提案し、さらにその基盤技術の上に感性情報入力センシング可能な手法を提案する。

ICT は遠隔地間の距離を技術の力で近づけることを可能にした。その技術は情報を電子化し遠方の情報を瞬時に伝える事ができるようにし、通話をはじめメールや SNS を含めた多くのサービスに活用されている。また、実際には遠くに存在する通信相手の識別の必要性は、ID/パスワードなど本人しか知らない識別情報を利用して、通信相手が正しい相手であることを認証する技術が発達させた。相手の通信環境は、利用するネットワーク環境により変化する。自宅では家庭で契約しているインターネットサービスプロバイダ経由の接続、職場では会社の構築したネットワーク経由の接続、スマートフォンでは通信会社経由の接続となる。これらを常時把握する事は困難であるため、通信環境が不変である代理サーバに対してお互いが接続し、そのサーバを経由して通信するようになった[21][22][23][24]。これまでの ICT はこのように多様な技術を組み合わせで実現されている。

近年システムへの短納期・低コスト要求から、オンプレミス型（サーバ設置型）のシステムから、クラウドコンピューティングに需要が大きく変化してきている。クラウドも代理サーバの一種であるが、センサからの多量のデータを発生する IoT への期待の高まりにより、通信負荷の削減と、短い（10ms 以下）レスポンスタイムの要求から、エッジコンピューティング[25][26][27]やフォグ（霧）コンピューティング[28]のコンセプトが現出している。Karloj Skala らの研究[29]では、さらにデュー（露）コンピューティングによるエンドデバイス同士の通信によるコンピューティングのコンセプトが提案されている。ただ

し具体的な実装は個別の研究に依存しており、標準化に向けた議論が開始されたばかりである[30].

従来技術における認証とは、遠隔地にいる通信相手が本人であることを証明する本人認証と、その通信相手の持つ権限に従ってアクセス可能な情報を限定するアクセス制御を実現することを意味している.

最近、タブレット端末（タブレット型 PC）や画面サイズの大きいスマートフォンが普及するにつれ、ICT 技術は音声やデータ、簡単なテキストのみのコミュニケーションから、長い可変長のテキスト、画像や動画を使ったコミュニケーションへと変化してきている。さらに、狭域エリアにおいて、タブレット端末を使った情報共有サービスの普及が始まろうとしている。飛行機のフライト前のブリーフィングにもタブレット端末が採用され、情報共有機器として利用されている[31][32]. プロジェクターを備えた専用の会議室ではなく、その場で空いている会議机などにフライトアテンダントが集合し、フライト時の接客サービスや想定される課題を共有する為に、それぞれの人がタブレット端末を持ち寄り、互いの情報を画面に表示してブリーフィングを実施している。集合する場所に依存する事なく会議を開始する事ができるので、会議室予約等の事前の手続きなしで、利便性の高い打ち合わせが可能である。

現状では狭域エリアでの入力テキストをデータ収集する狭域エリアセンシングは研究が始まったばかりであるが、適切な技術を採用することにより、将来的には十分大量センシングの発生する可能性のある領域としてとらえている。

狭域エリアにおけるタブレット端末を代表とする ICT 機器の使われ方はこれまでの距離を技術の力で近くする使われ方とはシステムへの入り口の参加資格の確認時点及び使用中にセンシングされる共有情報の格納場所の点で大きく異なる。狭域エリアでは従来のようにお互いが対面しない遠隔地にいる前提でシステムを考える必要性がない。現在のネットワークリソースのみの活用で事足りるのに、わざわざ遠隔地にある認証サーバを利用する必然性はない。ここでいうネットワークリソースとは、一般にはネットワーク上の資源のことをいう。回線、HUB、ルータ、プリンタ、サーバ、共有フォルダなどである。ここでは、

ネットワークで使用される HUB、回線、ルータなどの基盤の資源のことをさしている。タブレット端末が狭域で使用される環境では、ローカルデバイス同士の通信に限定すれば、ローカルなネットワークリソースのみしか使用しないのに対して、サーバを利用した通信では、タブレット端末とサーバ間のネットワークリソースを使用することにより、本来不必要な資源利用が生じる。狭域エリアの ICT 高度利用システムを従来システムの発想で考えることはネットワークリソースの活用が非効率であり、動的にグループを形成するには認証のために事前に参加者の設定が必要で利便性が低いという問題がある。

1.2 論文の構成

論文は次のように構成されている。第 2 章ではスマートデバイスによるセンシングである「参加型センシング」がなぜ重要であるのかについてふれ、参加型センシングを類型化し、広域エリアセンシングおよび狭域エリアセンシングの詳細研究の対象を明確化する。第 3 章では参加型センシングそのものおよびその類型に従って、「関連研究」を分析し課題を抽出する。第 4 章では抽出された課題についての解決アプローチを提示し本研究の目的および目標を明らかにする。第 5 章では参加型センシングの類型（図 1-7）の第 3 象限「広域で個人に最適化が不要なセンシング方式」および第 2 象限「広域で個人に最適化が必要なセンシング方式」に位置づけられ、広域エリアセンシングの 1 例である「車いすユーザの快適性可視化方式」を提案する。第 6 章では図 1-7 の第 4 象限「狭域で個人に最適化が不要なセンシング方式」に位置づけられ、狭域エリアセンシングの基盤技術である「狭域エリアの ICT 高度利用のための基盤技術」および第 1 象限「狭域で個人に最適化が必要なセンシング方式」に位置づけられ狭域エリアセンシングの 1 例である「狭域エリアの個別対応情報共有方式」を提案する。

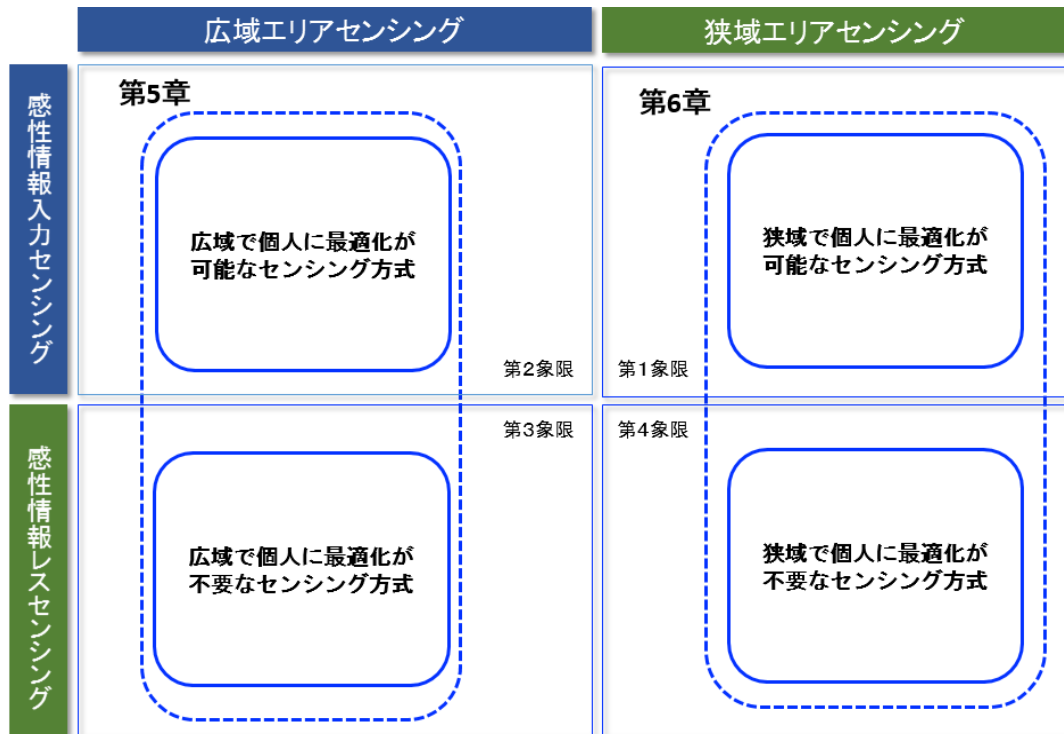


図 1-7 参加型センシングの類型

第2章「参加型センシング」の重要性

本章では、スマートデバイスによるセンシング方式である、「参加型センシング」の存在意義とその個々の類型（広域エリアセンシングおよび狭域エリアセンシング、感性情報入力センシングおよび感性情報レスセンシング）について論じ、広域エリアセンシングおよび狭域エリアセンシングの詳細研究の対象を明確化する。

2.1 「参加型センシング」の重要性

IoT の進展とビッグデータへの期待より、大量データのセンシングは非常に重要となっている、しかし固定式センサを用いるセンサネットワーク技術を利用した大量データのセンシングには普及に際していくつかの阻害要因がある。平成 28 年度情報通信白書ではインフラ面、ルール面、市場面、人材面、資金面が指摘されている（図 2-1）が、インフラ面（特にセンサ）に限ると、下の四つがあげられる。

- (1) センサの小型化と低価格化
- (2) センサの電池の長寿命化
- (3) センサの機種間誤差
- (4) センサのセキュリティ

スマートデバイスによるセンシングである移動式の「参加型センシング」を活用すると、これらの IoT 普及を阻害するインフラ面の課題を解決することが可能となる。「参加型センシング」のコンセプトは 2006 年 10 月 UCLA の J.Burke 氏らが携帯端末を活用したセンシングとして紹介された[33]。2016 年現在 人間、自動車、バイク、自転車といった移動手段とともに人が保有する携帯端末による「参加型センシング」の研究が盛んとなっている[34][35][36][37]。当初の参加型センシングの目的は主として三つであった。第一には騒音や川の水位などの環境センシングである[38][39][40]。第二に道路の路面状況や渋滞状況などのインフラセンシング[41][42][43]である。第三は平日のショッピング行動追跡や観光行動分析などのソーシャルセンシング[44][45]である。

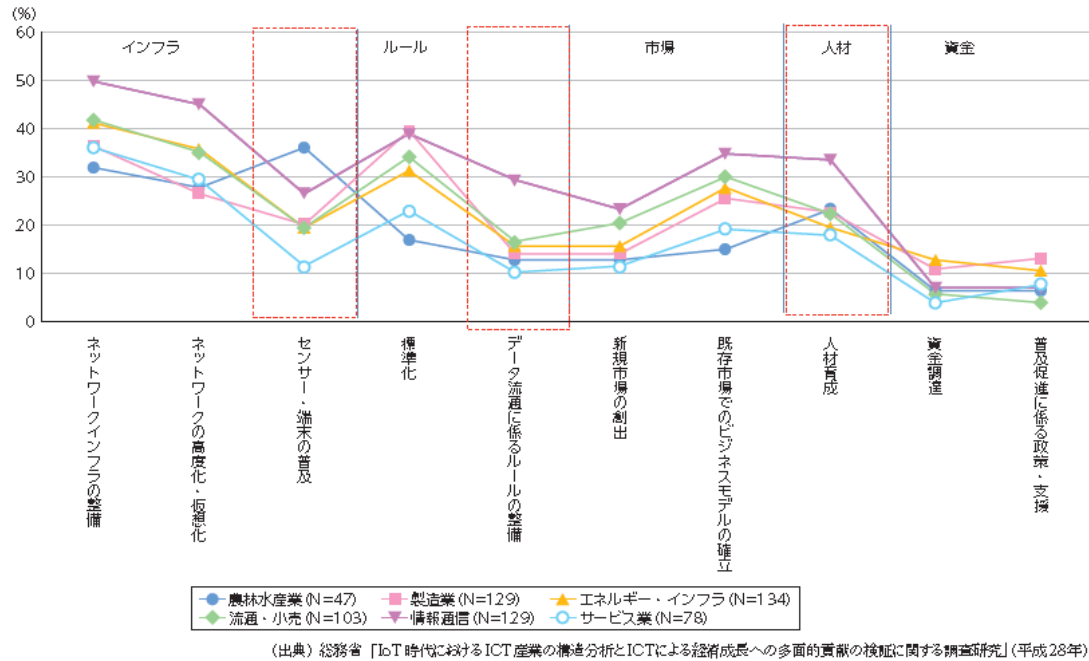


図 2-1 日本における IoT 普及の阻害要因 (平成 28 年情報通信白書)

スマートデバイスを利用したセンシングには Participatory Sensing[33]と Opportunistic sensing[46]の 2 種類がある, Participatory Sensing ではスマートデバイスを持ったユーザが何らかの意図をもって能動的に情報収集を実施する方式であり, Opportunistic Sensing は, 自動的かつ継続的に受動的にセンシングを実施する方式である. 本稿ではこの両方のセンシング方式を「参加型センシング」と呼んでいる. 「参加型センシング」には, 個人が電話そして日常生活に欠かせないツールとしてスマートデバイスを活用し始めていることから, インフラ面の課題で挙げられた, (1) センサの追加設置に関する課題 (2) 独自電池に関する課題 (3) センサの機種間誤差の問題 (4) センサのセキュリティの問題のいずれも解決できる可能性を秘めている. 具体的には (1) センサの追加設置に関する課題に関しては, 同種類のセンサを可搬式で持ち歩けるため, センサの必要な個所に設置するのではなく, 移動することによってセンシングすることが可能となる. (2) 独自電池に関する課題では, 人が通常使用するデバイスであるため, 常に使用可能とするための充電を随時実施しており, 電池切れの問題がない. (3) センサの機種間誤差の問題では, 同じ種類のセンサを異なる場所でのセンシングに活用できるために, センシングする場所によりセンサの機種が異なるという問題を排除できる. (4) センサのセキュリティの問題に関しては,

端末保有者がセキュリティに十分配慮していれば、センサに対する攻撃を未然に防ぐことが可能で、事後対策をとることも比較的容易である。

「参加型センシング」はセンシングのコストを抑制することに非常に有効であるが、大量データの収集を継続するためには、参加するインセンティブが課題である。自ら進んでセンシングに参加する動機付けがなければ大量データのセンシングに繋がらない。

2.2 「参加型センシング」の種類

ビッグデータ解析に必要な大量データを収集する手段としては、センサが存在し、センシング用途に特化した固定式のセンサネットワーク技術[47]と汎用のスマートフォンを利用する移動式の参加型センシング技術が存在する。この二つの技術について説明する。

2.2.1 センサネットワーク技術

センサネットワークとは、ノードとしてのセンサを搭載した無線端末とネットワーク技術から構成され、無線端末には、各種センサ、無線チップ、マイクロプロセッサ、電源が組みこまれ(図 2-2)、ネットワークを含む標準プラットフォームとしては、TinyOS[48][49], PAVENET OS[50], Zigbee[51], SPAN[52], CCP[53]等が提案されてきた。センサノードはセンサ情報を発信するのみでなく、他のセンサノードから中継ノードへデータを送信するためのルーティング機能を持っている。

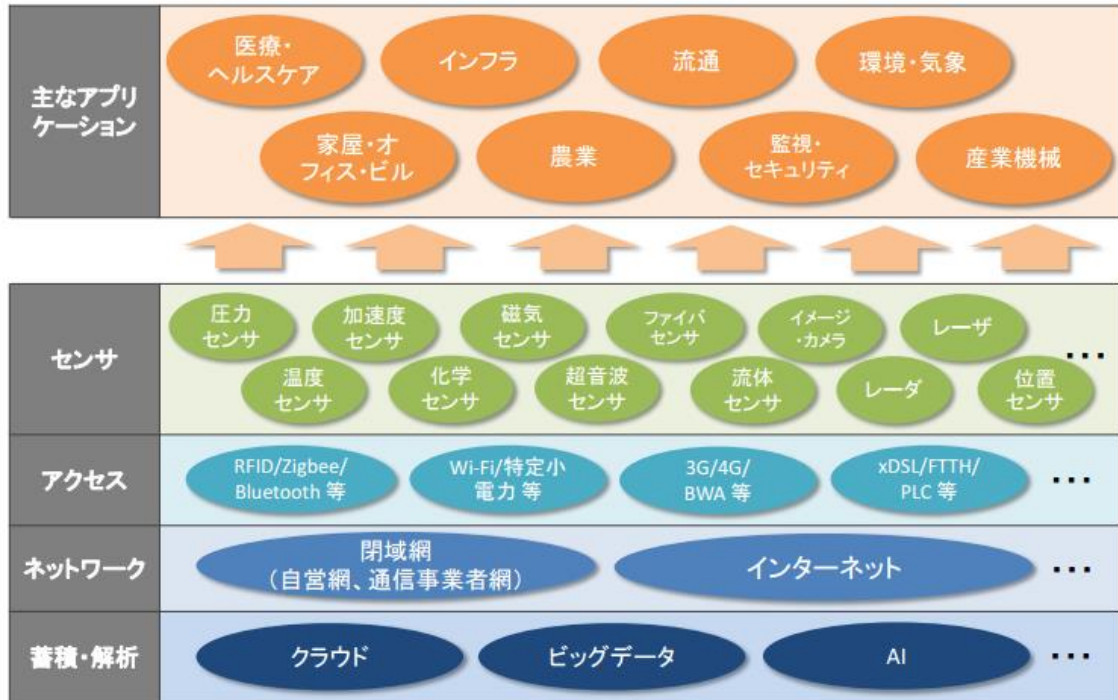


図 2-2 「センサーネットワークの現状」 平成 28 年 3 月総務省電波政策 2020 資料

用途別に物理的なセンサの市場規模を調べると、国内のセンサを含む IoT 市場規模は 2014 年度の 1733 億円から 2019 年度には 7159 億円に達する見通しである[54]. 「センサデバイス」はこの中で 17%を占めている (図 2-3) .

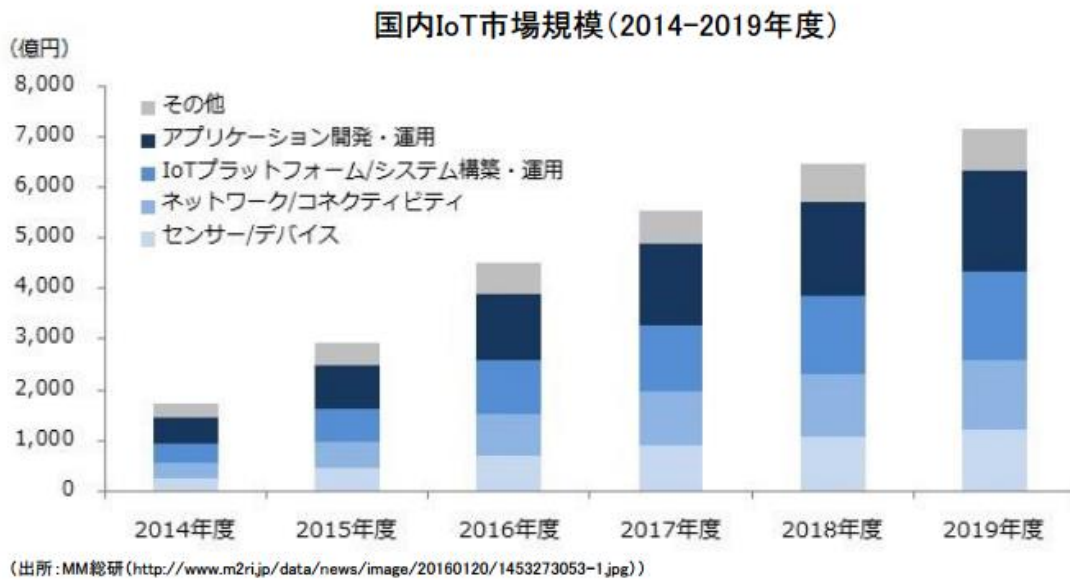
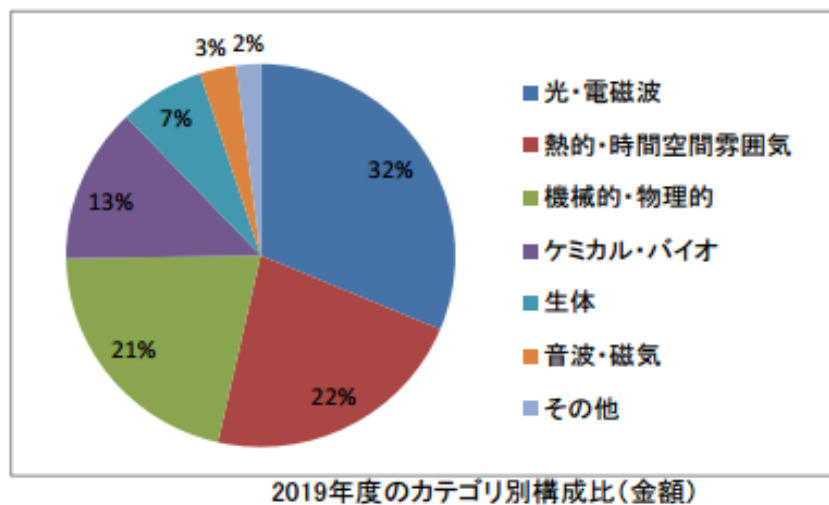
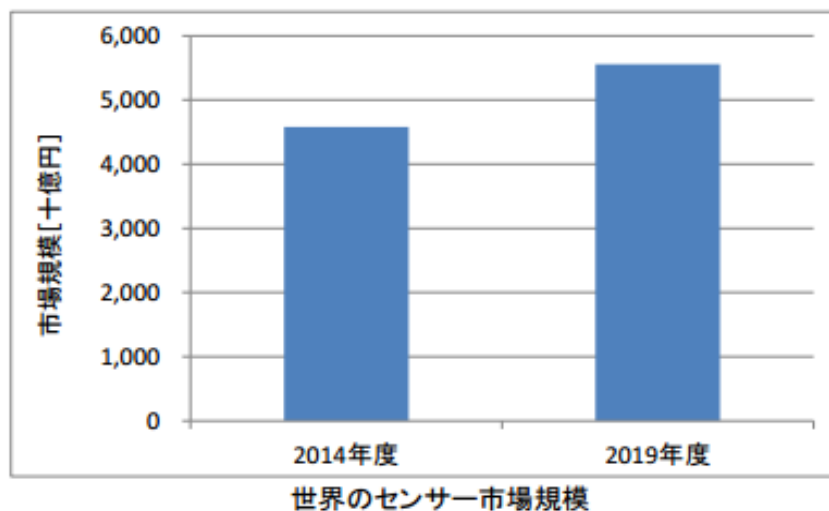


図 2-3 国内 IoT 市場の伸び

一方世界のセンサ市場規模は富士キメラ総研の調査[55]によると 2019年には2014年比 121.4%の 5兆 5576億円に達する（図 2-4）。小型化・省電力化が期待され、スマートフォンやウェアラブル端末などのモバイル端末や自動車などの重要分野や搭載数は拡大が予測されている。センサおよびセンサを搭載したデバイス間でのネットワークとデータ分析技術の組み合わせによりセンシングデータを利活用するビッグデータ、AIを活用する取り組みが活発化するであろう。カテゴリー別の比率では、光・電磁波センサが 31%を占めている。これは主としてスマートデバイスに搭載される CCD/CMOS エリアイメージセンサが伸びているためである。また 22%を占める機械的・物理的センサのカテゴリーでは、製造現場での利用が中心の圧力センサと、スマートデバイスや自動車向けで利用される加速度センサが中心的な存在である（表 2-1）。



(出所: 富士キメラ総研 (http://www.group.fuji-keizai.co.jp/press/pdf/150828_15080.pdf))

図 2-4 センサの製品カテゴリー別構成比

表 2-1 センサの製品カテゴリーと個別センサ

<u>製品カテゴリー</u>	<u>個別センサ</u>
光・電磁波センサ	リニアイメージセンサ, CCD/CMOS エリアイメージセンサ, 赤外線センサ, 紫外線センサ, 放射線センサ, 光電センサ
熱的・時間空間 雰囲気センサ	温度センサ (熱電対・側温抵抗体), 温度センサ (サーミスタ), 湿度センサ, 熱流センサ, 流量センサ, レベルセンサ, 密度センサ, 電流センサ, ほこりセンサ
機械的・物理的 センサ	変位センサ, 加速度センサ, 角速度センサ, ロータリーエンコーダー, ひずみゲージ, 圧力センサ
ケミカル・バイオ センサ	ガスセンサ, 空燃比センサ, DNA チップ・マイクロアレイ, グルコースセンサ
生体センサ	味覚センサ, 脳波センサ, 脈波センサ, 指紋センサ
音波・磁気センサ	超音波センサ, 磁気センサ
その他	RFID, GPS

2.2.2 参加型センシングの分類

これまでの説明の通り, 参加型センシングには, センシング対象としてのエリア別に, 広域エリアセンシングと狭域エリアセンシング, 感性情報を入力するかどうかで, 感性情報入力センシングと感性情報レスセンシングに分類される. これらを順番に説明していく.

2.2.2 - (a) 広域エリアセンシング

参加型センシングの対象が目に見える範囲を超えている場合, 広域エリアセンシングとなる. この場合には収集すべき情報に最適なセンサとスマートデバイスとの組み合わせにより, センシングの目的に応じて必要な情報が収集されることとなる.

広域エリアセンシングの市販製品の適用例としては、ヤグチ電子工業の放射線量計とスマートフォンとの組み合わせが存在する。東日本大震災の発生後、東北地方を中心に放射線量測定ニーズが高まる中、比較的迅速に開発・発売された。ミントキャンディーのケースを活用して金型コストを削減しベータ線遮蔽シールドのために10円玉を内蔵している[56] (図 2-5)。

また、センサ情報を公開するインターネット上のサイトとして「図ってガイガー」というサイトを公開して全国の放射能汚染に対する不安を抱えるユーザーに情報を共有する支援をされており累計500万拠点に達している[57] (図 2-6)。



図 2-5 参加型センシングの製品 1 (ヤグチ電子工業の放射線量計)



図 2-6 参加型センシングの情報共有サイト「測ってガイガー」

ウェザーニュース社[58]はクラウドセンシングと称して、雨量計ユーザの情報をニュース情報として収集し情報発信している。機器としては 2011 年創業でフランスの Netatmo 社の温度・湿度・気圧・CO₂ 濃度測定用センサ「ウェザーステーション」を利用している[59] (図 2-7)。「ウェザーステーション」はすでに 100 か国で利用されており、「ウェザーマップ」[60]というサービスサイトを通じて世界中の情報が共有されている (図 2-8)。また各個人の測定情報を見ることができるアプリ[61]も提供されている (図 2-9)。



図 2-7 参加型センシングの製品 2 (フランス NetAtmo 社の気温・湿度計「ウェザーステーション」)



図 2-8 NetAtmo 社製品を利用した参加型センシングの「ウェザーマップ」

本項で取り上げた二つの事例は何れも、専用センサの通信部分のインターフェースとしてスマートデバイスが活用されている。こうした形態の広域エリアセンシング事例のほかに、スマートデバイス本体の 3 軸加速度センサ機能を用いた、自動車での道路路面状態把握センシングや人の行動状態を推定するセンシングなどが盛んに研究されている。

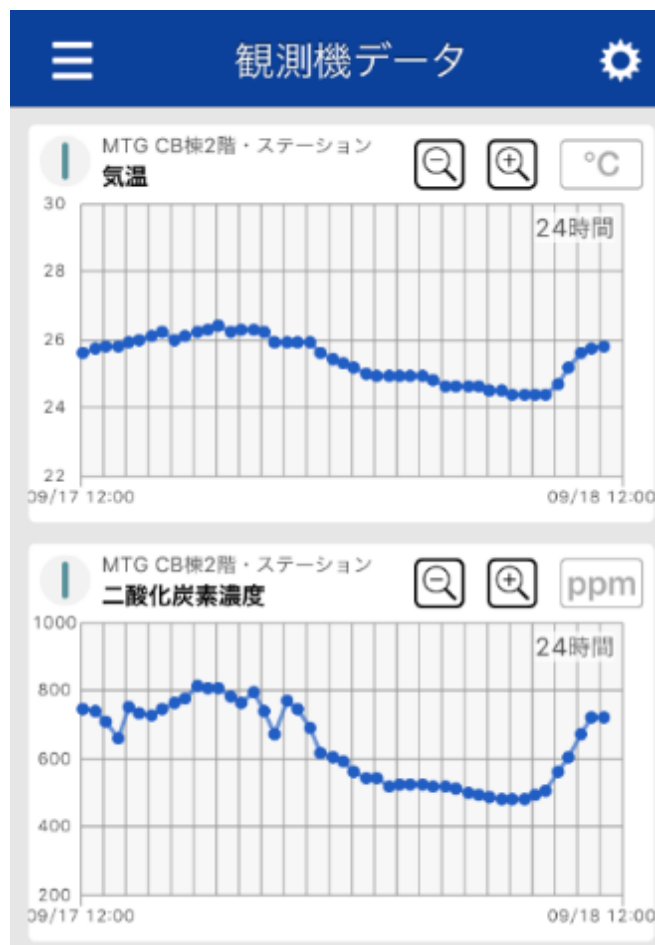


図 2-9 ウェザーニュース社の気象情報アプリ

2.2.2 - (b) 狭域エリアセンシング

これまで見てきたように、参加型センシングは、GPS センサ、加速度センサ、温度センサ、放射能センサ、画像データ、音データ、テキストデータなどを用いて、数 km の範囲以上の比較的広範囲な領域で利用されてきている。

これに対して、スマートデバイスの活用の進展に伴い、これまで ICT の活用自体が進んでこなかった分野に互いに相手を識別できるような狭いエリア（以後狭域エリアという）でセンシングを実施する「狭域エリアセンシング」分野がある。本稿ではこの分野をテーマとして設定し、研究に取り組んだ。狭域エリアセンシングの分野は、これまで本格的に取り組まれたことのない分野であ

るが、スマートデバイスの利用の急速な進展とともにしだいに顕在化しつつある分野である。このためにこれまで常識とされてきた認証技術やネットワーク技術を超えた基盤技術を要求する。本研究では最初に実用的な基盤技術を提案し、次に将来の発展を見越した情報共有方式の提案を実施した。さらに試験的なサービスおよび予測される将来のサービスに関する実験並びに考察を加えた。

狭域エリアの ICT 高度利用に関する従来の研究や事例では、狭域エリアを従来ネットワークとは異なる独自プロトコルでの実装が行われていてネットワーク効率性は高いが実装が TCP/IP でなく閉鎖的でありネットワーク接続性が確保されておらず維持コストが高かったり、悪意のある第 3 者が認証を通過する危険があり、安全性が確保されていなかったりする。ここでいうネットワーク効率性とは、ローカルなネットワークリソースのみを使用する場合に効率性が高く、外部のネットワークリソースを使用することにより、本来不必要な資源利用が生じる場合には効率性が低いと定義する。ローカルデバイス同士の通信に限定すれば、ローカルなネットワークリソースのみ使用するのに対して、遠隔地のサーバを利用した通信では、タブレット端末とサーバ間のネットワークリソースを使用することにより、本来不必要な資源利用が生じる。またネットワーク接続性とは、インターネットをはじめとするほとんどのネットワークが使用している TCP/IP を利用して、他のネットワークとの接続を可能にすることと定義する。Microsoft 社は、OS に独自のネットワークプロトコルである NetBIOS(Network Basic Input/Output System, RFC1001, RFC1002) とその下位プロトコルである NetBEUI(NetBIOS Extended User Interface)を使用してきたが、インターネットの一般化と TCP/IP が主流になったために、WindowsXP 以降のクライアント OS では標準プロトコルとしては実装しなくなっている[62][63]。これも NetBIOS, NetBEUI のネットワーク接続性の不適合である。接続性も確立され、安全性も確保されているが従来の距離を技術の力で近づける技術が前提の認証技術を活用しているために利便性に問題を抱えている研究もある。いずれもネットワーク接続性、ネットワーク効率性、安全性、利便性のどこかに課題を抱えており、完全ではない。

2.2.2 - (c) 感性情報入力センシング

参加型センシングにはメリットも多いが、大きな課題としては、センサネットワークによるセンサと同様に大量のセンシングデータを収集するために大量のユーザに参加してもらうためのインセンティブをいかに提供するかということがある。

本稿では、個人に長期的に関心を持ち続けてもらう手段として個人の感性に響く価値を提供することを非金銭的なインセンティブと考えた。

そのための手段として「感性情報入力センシング」を提案する。センサからのセンシングデータのみでなく、人の感性情報もスマートデバイスを通じて入力することによりその人個人の適した状態を推定し、快適性を提供するための手段を提供することが可能ではないかと考えた。

これが「感性情報入力センシング」の発想の原点である。

この感性情報入力センシングは個人のニーズをリアルタイムにとらえ、必要に応じてガイドや評価することにより、各個人に最適な助言を提供することを可能とする。

2.2.2 - (d) 感性情報レスセンシング

一方これまでの参加型センシングには、人の感性情報を人間が直接入力する手段が確保されていなかった。必要性があれば Twitter や Facebook などソーシャルメディアを通じて感性を別途情報発信する必要性があり、センシングデータとの関連性を追跡するには適していなかった。これまでの感性情報入力のないセンシングのことを「感性情報レスセンシング」と呼ぶことにする。

2.2.3 参加型センシングの4類型

これまで見てきたように参加型センシングには大きく2種類のセンシング領域およびデータ収集方式がある。センシング領域としては、道路の路面状態や特定地点の気象状態などの「広域エリアセンシング」と狭い空間での会議の生発言データなどの「狭域エリアセンシング」であり、データ収集方式としては人の五感を感じたり、意思が発生したり、評価したい瞬間に入力行動をする「感性情報入力センシング」とそういったアクションを起こさない「感性情報レスセンシング」である。

従来の参加型センシングでは主として「広域エリアセンシング」をセンシング領域とし、個々のデバイス所有者の五感、意思、評価とは無関係に「感性情報レスセンシング」によるデータ収集が主たる収集方式であった。

本研究では、センシング領域を横軸（左が広域エリアセンシング、右が狭域エリアセンシング）としデータ収集方式を縦軸（下が感性情報レスセンシング、上が感性情報入力センシング）とする四つの象限の中で、これまで取り組まれていなかった分野での参加型センシングを提案する（図 2-10）。

参加型センシングの事例として紹介した全世界の温度情報を収集し可視化する参加型センシングや、自動車・バイク・自転車・人などの動作について振動による状態を予測する参加型センシングなどの現状のセンシングは、第3象限に位置する。これに感性情報を入力する機能を加えることにより、第2象限には個人的な体感温度を予測する参加型センシングや個人的な快適度を予測する参加型センシングなどの新しいセンシング方式が位置してくることとなる。

本稿が初めて取り組む、狭域エリアセンシングの第4象限には、これまで ICT 高度利用がすすまなかった、目の前で起こる会議のセンシングが位置し、その基盤の上に第1象限では狭域エリアの会議の中での他人の発言に対する評価入力により個人に対する習熟度理解や教育計画立案に結び付くセンシングなどの新しいセンシング方式が位置する。

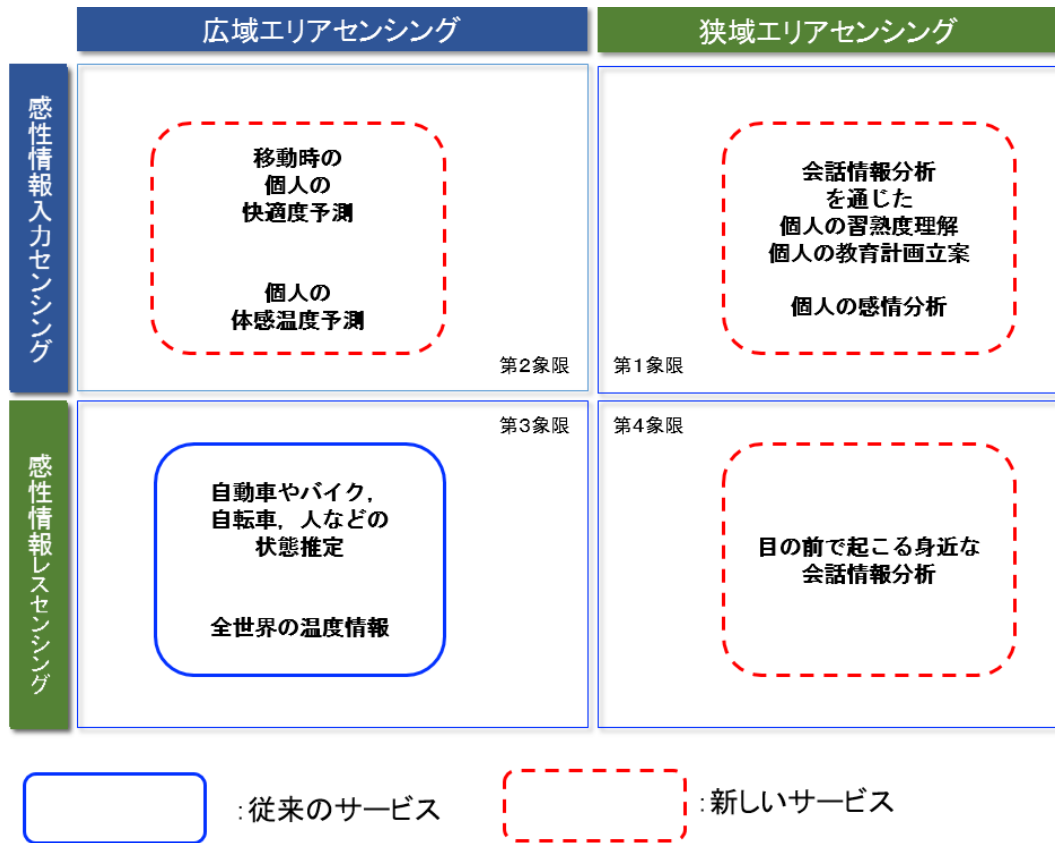


図 2-10 参加型センシングの適用サービス類型

2.2.4 詳細検討の対象の明確化

広域エリアセンシングおよび狭域エリアセンシングにおいて、以下のように詳細検討の対象サービスを明確化する。

2.2.4-(a) 広域エリアセンシングの研究対象サービス

今回、「広域エリアセンシング」の例としてスマートデバイスの活用が遅れている車いすユーザーのための快適性可視化方式を提案する。この分野をとりあげた理由は以下の3点である。

(1) 日本は国民の4人に1人が65歳以上の高齢化社会に突入し、車いすの利用者増加が想定されていること

(2) 北海道では積雪のため歩道の悪路が多く、路面の快適性の確保が課題であること

(3) 車いすセンシングでは、これまで固定式のセンサ方式が主流であり、参加型センシングに取り組むことにより、個別対応の可能性があること

2.2.4-(b) 狭域エリアセンシングの研究対象サービス

また、「狭域エリアセンシング」の対象として、「情報共有時の感性情報の収集と分析」を選択する。この分野をとりあげた理由は以下の3点である。

(1) 狭域エリアでのスマートデバイス活用が急速に進んでおり、ICTを利用したコミュニケーションの活性化のニーズがあること

(2) 狭域エリアでの会話の生ログは重要であるが、これまで有効な取得方法がなく、今回の提案により貴重な大量のテキストデータを収集できる可能性があること

(3) 秘匿性と承認欲求を満たすアプリを提供することにより、心の動きを可視化でき、参加型センシングによる個別対応の可能性があること

第3章「参加型センシング」の関連研究と課題

本章では参加型センシングの種類において本稿にてとりあげる分野の関連研究と課題を記述する。

参加型センシングには、その性格から、大量にユーザに参加を促すための動機に繋がるインセンティブの提供という欠くべからざる要素が存在する。インセンティブがなければ、大量にユーザが参加せず大量のデータ収集に繋がらない為、存在意義が問われることになる。このインセンティブに関する関連研究とその課題について述べる。

また、様々なサービス毎に準備されるセンシング方式を、効率よく展開するための標準化の観点から、アーキテクチャが必要とされている。この関連研究とその課題に関しても記述する。

広域エリアセンシング分野で例として取り上げる、「車いすユーザの快適性可視化方式」ではこれまでスマートデバイスによる参加型センシングが行われていない分野である、加速度センサおよび GPS センサによる車いすユーザの路面からの振動による快適さを測定するために、スマートデバイスによるセンサデータ収集と不快地点の人による入力という方式に関する関連研究をとりあげ、これまでの関連研究での課題をまとめる。

狭域エリアセンシング分野で例として取り上げる、「基盤技術と新しい個別対応情報共有方式」では、これまで ICT の高度利用がすすまなかった企業内で動的に随時開催されている 10 名以下の少人数の会議をとりあげる。高度利用がすすまなかった理由は従来の技術が遠隔地にある地点の距離を近づける技術の延長線上で設計されていることに起因している。従来の技術では、たとえ目の前に必要なユーザがそろっていても、その参加資格やユーザ認証の役割が遠隔地のサーバで構成されていた。このことから起因する課題を関連研究から浮かび上がらせる。

3.1 「参加型センシング」のインセンティブに関する関連研究

参加型センシングの参加端末を増やす動機に関する研究として、短期的インセンティブである、金銭的なインセンティブに関する研究が存在する[64][65]。また、長期的なインセンティブとして非金銭的なインセンティブが存在する[66]。今回の研究はこの非金銭的なインセンティブの一部である。

米国の大学ではマイクロペイメント方式を活用した金銭的なインセンティブの方式に関する研究が存在する。放射能汚染を警戒する多くの日本国内のユーザが参加し汚染状況を共有しあうサイトは関心の高さをインセンティブとする非金銭的なインセンティブの例である。

長期継続的なデータ収集の為にインセンティブを設定することが課題である。

3.2 「参加型センシング」のアーキテクチャに関する関連研究

また参加型センシングでは研究者から複数の課題の提示とアーキテクチャの提案がある[67][68][69][70]。その中で以下の図 3-1 は Cornell Tech (ニューヨーク州) のコンピュータサイエンスの教授で、環境センシングの研究の専門家である Deborah Estrin 教授が中心となって取りまとめている[71]参加型センシングの共通アーキテクチャーコンポーネント図である。この図で重要な機能としては、第一に、センサデータ収集であり、センサデータ収集およびデバイス・サーバ処理コンポーネントがこれを実施する。これらのコンポーネントは、イメージ、音声、映像、動作などと位置情報を収集し、ブロードバンドで通信を行い、手動・自動によるデータ収集を実施する。第二にデータ処理と管理を実施する機能を実現する、サーバ処理コンポーネントとアプリケーション・分析・行動コンポーネントである。これらのコンポーネントは、複数ユーザの大量データを管理し分析することによって有益な知見を導き出す。このアーキテクチャにおいては、個別対応するための方式が確立されていないことが課題である。

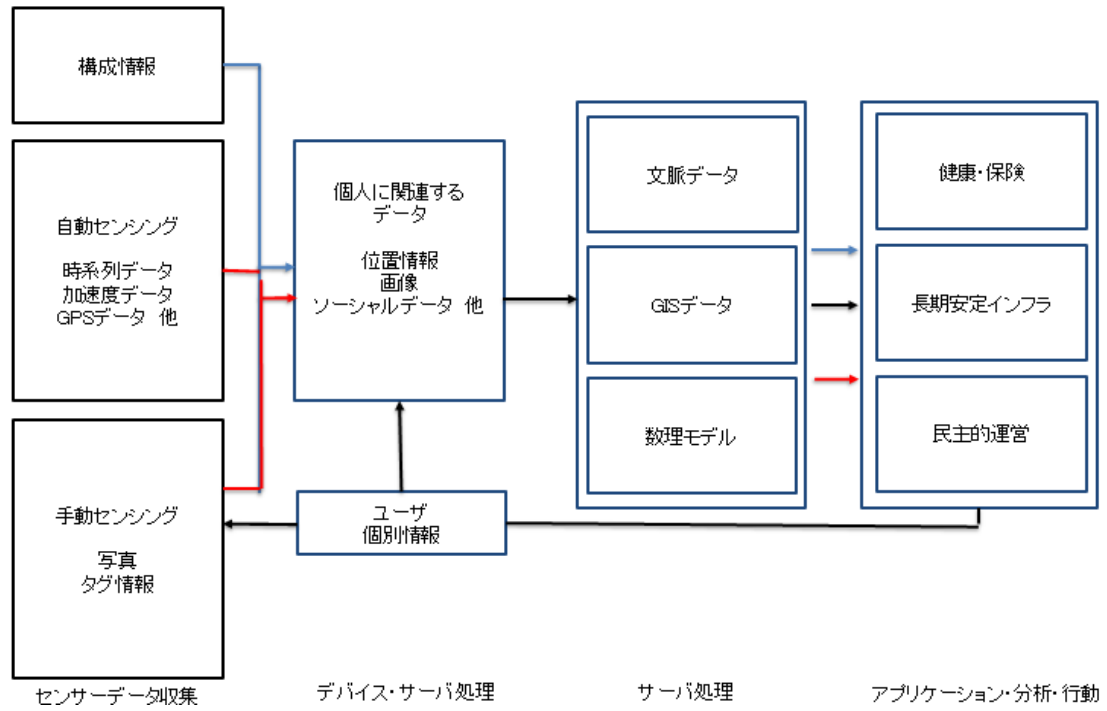


図 3-1 Deborah Estrin の提案アーキテクチャ

3.3 広域エリアセンシングの関連研究と課題

本節では広域エリアセンシングの 1 例「車いすユーザの快適性可視化方式」に関する関連研究を論じる。

3.3.1 広域エリアセンシング「車いすユーザの快適性可視化方式」の要件

広域エリアセンシングの対象となる分野では、これまで多くの場合固定式の専用センサが収集すべきデータを捕捉してきている。これを参加型センシングの類型のひとつである広域エリアセンシングとして機能させるためには、大きく分けて二つの要件がある。第一にスマートデバイスのセンサの分解能力でこれまで専用の固定式のセンサで捕捉されてきているデータと遜色ない精度で測定できなければならない。第二に長期継続的なセンシングにつなげるために、参加ユーザに対して参加する動機に繋がるインセンティブを提供する機能が実装されることである。本研究ではこれを個別対応参加型センシングに持ち込むために、感性情報入力センシングで解決しようとしている。

3.3.2 広域エリアセンシング「車いすユーザの快適性可視化方式」の関連研究

広域エリアセンシング「車いすユーザの快適性可視化方式」の関連研究には四つの主要な車いすのナビゲーションに関連した研究が存在する。二つの研究はスマートフォンの 3 軸加速度センサを使用しており、他二つの研究は車いす据付型の 3 軸加速度センサが利用されている。

3.3.2-(a) 身障者向け車椅子の屋内・屋外ナビゲーションシステムの研究

2012 年ワッタナワラオンクンナッタポップらは階段や坂道などの静的データをあらかじめ地図上で把握し、それを回避する形でのナビゲーションシステムを開発した[72]。スマートフォンは方位センサと車輪の速度を計測する目的で Bluetooth 通信する車輪センサが活用されている。しかし図 3-2 のような大きな段差や、図 3-3 のような建設中の歩道、図 3-4 のような老朽化し舗装のはがれた歩道は考慮されていない。このような道路では、車いすに対して使用者に大きな不安を抱かせる不快な振動が生じる。このことから本方式では路面状態による不快な振動は判別できない。

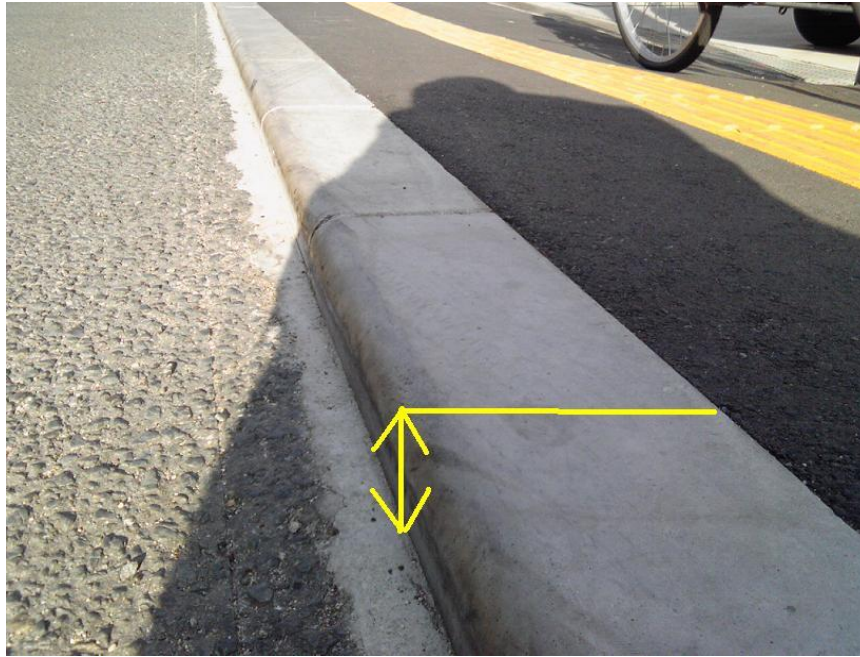


図 3-2 段差の大きな歩道



図 3-3 建設中の歩道



図 3-4 老朽化し塗装のはがれた歩道

3.3.2-(b) 車いすの振動加速度を用いた歩道路面凹凸の評価に関する研究

2004 年岡村らの研究[73]で、図 3-5 のようなブロック配置と寸法および進行方向となった路面での走行での振動は、人体に有意な生理的影響が生じ始める振動レベルに達していることを測定した。また、走行速度が増加すると振動加速度実効値は線型的に増加し、走行速度の影響は鉛直方向が最も顕著であることを証明した。図 3-5 の寸法の舗装ブロックタイル付き路面では、車いすユーザは 1 日 1 時間以上走行するには適さない路面という評価をしている。全く同じ寸法ではないが、同様の路面は図 3-6 のようによくみかけるものである。

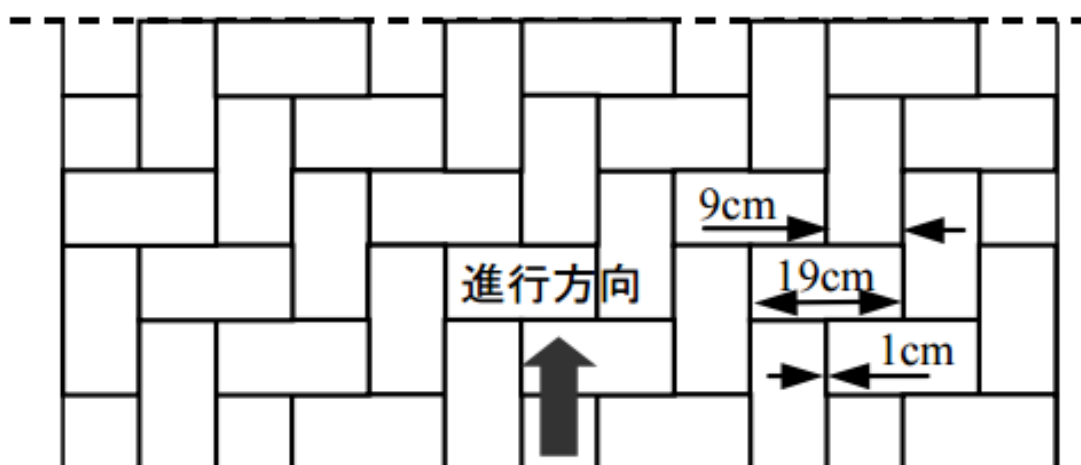


図 3-5 測定路面のブロック配置と進行方向



図 3-6 舗装タイル付き歩道

岡村らの報告で明らかになった事実は以下の 4 項目である[74][75].

- ① 車いすの振動加速度応答の卓越周波数は、ブロックの目地間隔と走行速度から求められる周波数の整数倍とほぼ一致する.
- ② 車いすの振動加速度実効値は前・後輪とも鉛直方向の値が最も大きく、進行方向および横方向の値も鉛直方向の 1/2 以上の値を示す.
- ③ 走行速度が増加すると振動加速度実効値は線形的に増加し、走行速度の影響は鉛直方向が最も顕著である.
- ④ 乗員の重量が減少すると後輪の振動加速度実効値は増加する.

3.3.2-(c) 車いす走行ライフログの時空間解析による路面状況推定システム

2013 年岩澤らは 3 軸加速度センサを用いた車いす移動支援のための 路面危険性推定システムを提案，およびシステム構築のための時空間両面からの車いすライフログ解析結果を提示した．結果として 59/75（約 79%）で正しく粗い路面であると推定されていた．またこの結果では一般の人々にとってはどのような状況が障害物であるかを判断するのは困難であり，収集できる情報量に限りがある．また，人によって悪路の基準は異なり，収集した情報から路面状況を評価するのは困難であるとしている．

しかし 3 軸加速度センサはスマートフォンに搭載されているものでなく，あくまでも路面状態を推定により可視化するにとどまっている．結果としては車いすユーザの乗り心地を評価するまでには至っていない[76][77]．

3.3.2-(d) 車いす利用者の慣性・生体情報に基づく乗り心地推定

2015 年伊勢崎らによる研究[78]で最新型電動車いす利用者に対して，振動による物理的障壁に加え心電情報による心理的障壁をとらえることにより乗り心地を評価する報告がなされている．この報告ではスマートフォンの加速度センサが心電センサとの併用で活用されている．まだ室内での試験にとどまっており，心電センサからの情報に基づく乗り心地を評価しており直接ユーザからの入力を拾うわけではない．また手動式の車いすでは自走時に心電の誤差が生じる．

3.3.2-(e) 広域エリアセンシング「車いすユーザのための路面快適性可視化方式」の関連研究のまとめ

車いす利用者のための広域エリアセンシング関連研究の利点・欠点は表 2-1 のようにまとめられる．第 1 の研究では路面の振動を拾っていないので，乗り心地が評価されない．第 2 の研究では振動による人体への影響が評価されている．しかし第 2 および第 3 の論文では研究目的で専用の加速度センサが使用されており，第 3 の論文は乗り心地でなく路面状態の再現に焦点を当てている．第 4 の研究はスマートフォン上の加速度センサおよび心電センサを用いて最新

の電動車いすユーザの乗り心地を評価している。手動式の車いすでは自走時に心電の誤差が生じる。

表 3-1 広域エリアセンシング関連研究の利点・欠点

	手動車いす対応	道路路面状態把握	スマートフォン利用	個別対応センシング
3.3.2-(a)方式	適合	不適合	不適合	不適合
3.3.2-(b)方式	適合	適合	不適合	不適合
3.3.2-(c)方式	適合	適合	不適合	不適合
3.3.2-(d)方式	不適合	適合	適合	不適合

そのような理由から導入コストと手動式車いすの利用者の正確な個人別の乗り心地の悪い地点の測定の観点でスマートフォンを用いたセンサとアプリケーションによる方式を提案する。提案方式では路面状態によって引き起こされる加速度値の各個人の閾値を自動的に計算し、特定のユーザにとって乗り心地の悪い地点を事前にそのユーザの画面に表示することができる。

3.4 狭域エリアセンシングの関連研究と課題

本節では狭域エリアセンシングの基盤技術である「狭域エリアの ICT 高度利用のためのグルーピング方式」の関連研究の動向を論じる。会議室とは異なり、機動的に参集することが必要なオープンエリアなどの設備の整っていない狭域エリアで、情報共有する際の基盤技術であるグルーピング方式に関する関連研究に関して調査している。

本節の対象とするシステムは狭域空間で実施される会議で利用される情報共有システムである。本節ではまず、情報共有システムに関し、狭域エリアでの通信要件を定義する。次に狭域エリアでの認証技術の前提条件とセキュリティ要件を上げ、最後に関連研究および事例において通信要件およびセキュリティ要件を満たすかどうか確認する。その上で関連研究における課題を明確にする。

3.4.1 狭域エリアセンシングのグルーピング方式の通信要件とセキュリティ要件

本節の情報共有システムを、従来システムの発想で考えることはネットワークリソースの活用が非効率であり、動的にグループを形成する際には認証のために事前に参

加者の設定が必要で利便性が低いという問題があった。このことから狭域エリアで、通信技術においては最も普及しているプロトコル TCP/IP の実装を用い（ネットワーク接続性）、認証技術においては効率的なエンドデバイス間で通信する（ネットワーク効率性）という通信要件を満たす必要がある。

情報共有システムにアクセス権限を持ち会議の参加者であるユーザを、本節では「参加者」と呼ぶこととする。また情報共有システムにアクセス権限を持ち参加者候補となるユーザを「参加候補者」と定義する。情報共有システムに関し、認証技術の前提条件をまとめると以下のようなになる。

- ① 会議は信頼関係の成立する参加候補者同士で実施
- ② 参加候補者各自のタブレット端末には情報共有アプリが導入済みで最初の起動時にパスワードを設定可能（これにより本人の端末であることを担保する）
- ③ 会議の参加人数は人が識別することが可能な 10 名程度とする

情報共有システムでのセキュリティ要件を以下にまとめる。従来のシステムでは遠隔地間の認証サーバを前提とするためにサーバ関連のセキュリティを考慮する必要があった。しかし狭域エリアにおける ICT 高度利用ではサーバ関連のセキュリティを考慮する必要はない。

セキュリティの脅威を Microsoft 社の STRIDE 分析[79][80][81][82] で分析してみる。STRIDE(ストライド)分析は、マイクロソフト社の Security Engineering and Communications グループによって策定された方式で、システムにおいて攻撃者の攻撃を想定し、システム側で適切な防御策を講じるための分析方式である。なりすまし(Spoofing),改ざん(Tampering), 否認(Repudiation), 情報漏えい(Information Disclosure), DoS (Denial of Service)の中では、なりすましのリスクが今回の特別な要件（安全性）として対象となる。その他のリスク対策は一般的対策で十分である。

3.4.2 狭域エリアセンシングのグルーピング方式の関連研究・事例

情報共有システムにおける通信要件とセキュリティ要件に関連する研究・事例としては、次のような研究および商用サービスの事例が存在する。

- (a) Apple の通信方式 Bonjour[83]
- (b) 「あいことば」による認証方式
- (c) 物理的ソーシャルトラストに基づくコンテキストウェア認証[84]
- (d) ソーシャルネットワークシステム LINE 方式[85]
- (e) 携帯電話によるソーシャルプラットフォームのためのタブレット端末グループ管理方式[86]
- (f) CISCO SPARK 方式[87]

以下これらの認証方式において、認証時のインタラクションを比較することにより、通信要件（ネットワーク接続性とネットワーク効率性）およびセキュリティ要件（安全性）を考察する。また、狭域エリアにおける ICT 高度利用には必要なメンバで集まりすぐに利用可能となる必要があるため、利便性が高くなければ高度利用が進まない。

3.4.2-(a) Apple の通信方式 Bonjour

Bonjour（ボンジュール）は Apple 社の開発したゼロコンフィグレーション技術の実装である。主として LAN 環境で、何の設定も実施せず、機器を使用可能とすることができる。TCP/IP ではないためネットワーク接続性は確保されない。しかし、独自プロトコルであるため、サーバを介することなく直接プリンタなどこのプロトコルを実装した機器とのやり取りが実施可能で、ネットワーク効率性は高い。当プロトコル単独でアクセス制限は不可能であるため、安全性は担保できない。ただし事前にアクセス権限の設定は不要のため利便性は高い。

また、この方式は、それぞれの機器に Bonjour の実装を要求するが現実的にはタブレット端末のデータを同一 LAN 内にあるプリンタや PC とタブレット端末間の接続等といった限定した用途のためにしか実用化されていない。

3.4.2-(b) 「合言葉」による認証方式

近年銀行のオンラインバンクなどで、普段とは異なる環境からのアクセスに対しての認証を強化するために、リスクベース認証[88]の手段の一つとして合言葉による追加認証が利用されている。狭域エリアにおけるタブレット端末を使用した情報共有システムでは、グループ形成時にあらかじめグループで決めておいた「合言葉」を入力するという認証方式が考えられる。合言葉による認証は、通常の TCP/IP を採用するアプリケーションに実装可能であるため、接続性は確保されている。また合言葉をサーバで管理する必要がありネットワーク効率性は低い。事前にアクセス権限の設定が不要であるため利便性は高いが、この方式では、悪意のある第三者が不正なルートで入手した「合言葉」を使って認証を通過するなりすましを防ぐことができないため安全性を満たしていない。

3.4.2-(c) 物理的ソーシャルトラストに基づくコンテキストウェア認証方式

有村らの研究では、「人間が人間を目視する」ことによって被認証者と周囲のユーザとの間に成立する信頼度という文脈情報を用いて、なりすましを検知し、被認証者の認証可否をコントロールする新たなタイプのコンテキストウェア認証が提案されている。

社員同士が、互いのタブレット端末が隣接した際に、臨席者のタブレット端末情報が自分の端末に表示される。このタブレット端末情報と目視による本人確認情報が正しいかどうかを判定する仕組みとこれを蓄積する仕組みにより、認証強度を変更することができる。このことにより、信頼度の高いユーザの認証強度を弱めることが可能となり、利便性を向上させることができると論じている。当方式は、通常の TCP/IP を採用するアプリケーションに実装可能であるため、接続性は確保されている。必ずサーバを介した通信を要求するため効率的ではない。本認証で示されている信頼度と会議に参加することのできる権利とは直接関係がない。会議に参加可能なメンバに対して事前にアクセス権限の設定が必要であるため利便性は低い、なりすましを防止する機能を実装することが可能で安全性は高い。

3.4.2-(d) LINE のグループ形成時の通信方式および認証方式

一方、一般消費者の使用する SNS である LINE では、「ふるふる」という機能で目の前の友人をシステム上に自分の友達として登録することができる。LINE のふるふる認証は、通常の TCP/IP を採用するアプリケーションに実装可能であるため、接続性は確保されている。必ずサーバを介した通信を要求するため効率的ではない。GPS の位置情報を利用し対象者との対面関係を把握し、互いにタブレット端末を振る振動を検知することで、信頼関係を確認している。相互の認証済みのメンバしか参加できないため安全性が確保されている。しかし LINE ではグループ形成ステップとして、各人の友達リストの中で、信頼関係のある友達を個別にピックアップし、別途グループ設定をする必要がある。事前にアクセス権限の設定が必要であるため利便性は低い。

3.4.2-(e) 対面コミュニケーションにおけるソーシャルプラットフォームのタブレット端末グループ管理方式

大畑らの研究では、Bluetooth ペアリングによるタブレット端末認証と SNS アプリケーション (OpenPNE) のユーザ認証の組み合わせている。この方式は必要性の高まりを見せる対面コミュニケーションを支援するソーシャルアプリケーションにおいて、その場所にいることの確認と本人性の検査を提案している。ところが狭域空間でのグループ形成時の認証には、事前登録されている会議参加者との突合により認証する方式がとられている。当方式は、通常の TCP/IP を採用するアプリケーションに実装可能であるため、接続性は確保されている。また必ずサーバを介した認証を要求するため効率的ではない。相互の認証済みのメンバしか参加できないため安全性が確保されている。ただし事前にアクセス権限の設定が必要であるため利便性は低い。

3.4.2-(f) CISCO SPARK 方式

企業向け情報共有のアプリケーションである CISCO SPARK では、端末に登録された「メールアドレス」や「名前」を活用して即時にグループを作成することができる。CISCO Collaboration Cloud にプロフィール登録をしておく必要があり、権限設定は事前の設定が必要である。CISCO SPARK 認証は、通常の TCP/IP を採用するアプリケーションに実装可能であるため、接続性は確保されている。必ずクラウドを介した通信を要求するため効率的ではない。プロフィール登録済みのユーザのみとの接続であり相互の認証済みのメンバしか参加できないため安全性が確保されている。しかし CISCO SPARK ではグループ形成ステップとして、各人の友達リストの中で、信頼関係のある友達を個別にピックアップし、別途グループ設定をする必要がある。事前にアクセス権限の設定が必要であるため利便性は低い。

通信要件では第 1 方式は、接続性を確保できず第 2, 第 3, 第 4, 第 5, 第 6 方式は効率性に課題がある。セキュリティ要件では第 1, 第 2 方式では、なりすましを防ぐことができず安全性に課題がある。第 3, 第 4, 第 5, 第 6 方式は、安全性は確保しているが、会議メンバの事前登録が必要であり、利便性に欠けるという課題がある。これらをまとめると表 3-2 のようになる。

表 3-2 狭域センシング関連研究・事例の要件の適合・不適合

	ネットワーク接続性	ネットワーク効率性	安全性	利便性
3.4.2-(a)方式	不適合	適合	不適合	適合
3.4.2-(b)方式	適合	不適合	不適合	適合
3.4.2-(c)方式	適合	不適合	適合	不適合
3.4.2-(d)方式	適合	不適合	適合	不適合
3.4.2-(e)方式	適合	不適合	適合	不適合
3.4.2-(f)方式	適合	不適合	適合	不適合

第4章「参加型センシング」の課題へのアプローチ

第3章で参加型センシングの課題をまとめた。本章ではこの課題を解決するためのアプローチについて説明し、本研究の目的および目標を明らかにする。

4.1 「参加型センシング」のインセンティブに関する課題に対するアプローチ

インセンティブの中で、金銭的なインセンティブは短期的には大量の参加者の保有するセンサを大量動員する強いインセンティブとなるが、長期継続的な情報収集活動にはつながらない。非金銭的なインセンティブの中で、これまでも気象情報や放射能情報などで実施されている「興味が共通する情報を互いに共有する方式」では、飽きがくると一挙にセンサの動員数が確保できなくなる。そこで、収集されたデータを個人に対するメリットを与えるデータとしてフィードバックすることにより、長期継続的な情報収集につなげることを考えた。具体的には、人の五感や意思、評価情報を入力する（感性情報入力）機能による個別対応によりインセンティブを提供することを提案する。

4.2 「参加型センシング」のアーキテクチャに関する課題に対するアプローチ

本研究の提案する感性情報入力センシングアーキテクチャは図4-1で示される。この図で重要な機能としては、第一に、センサデータ収集であり、センサデータ収集およびデバイス・サーバ処理コンポーネントがこれを実施する。これらのコンポーネントは、ユーザ個別の感性情報を手動または自動で収集し、ブロードバンドでの通信によるデータ収集を実施する。第二にデータ処理と管理を実施する機能を実現する、サーバ処理コンポーネントとアプリケーション・分析・行動コンポーネントである。これらのコンポーネントは、複数ユーザの大量感性情報データを通常の収集されたイメージ、音声、映像、加速度センサデータ等と位置情報を管理し分析することによって有益な知見を導き出す。

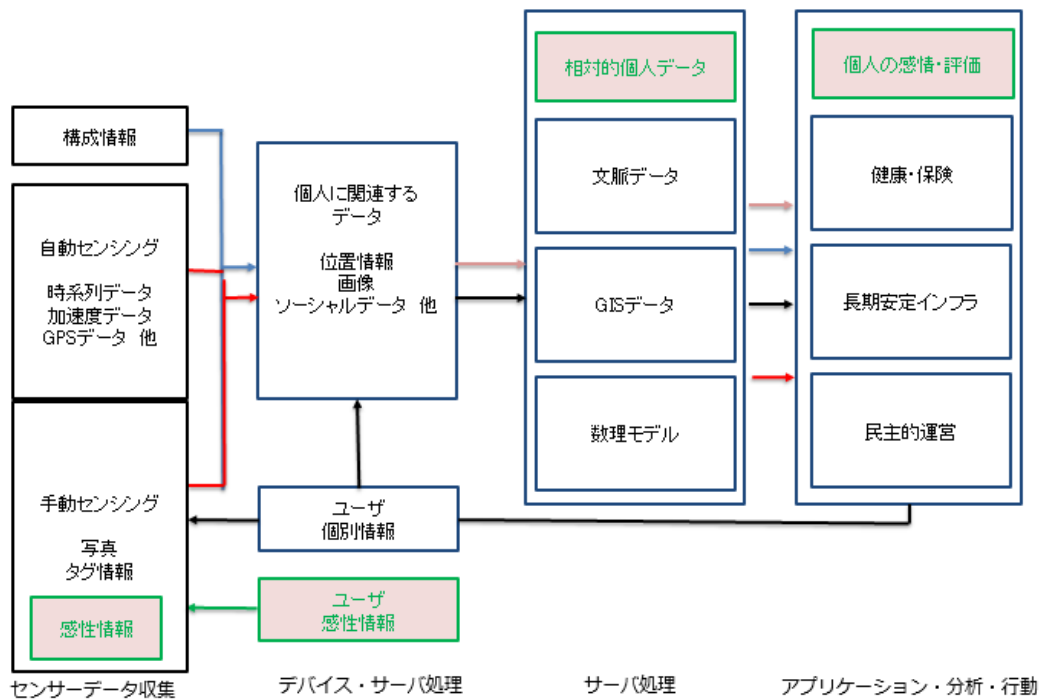


図 4-1 Deborah Estrin の提案アーキテクチャに感性情報入力を追加した図

4.3 広域エリアセンシングに関する課題へのアプローチ

第 3 章で、広域センシングの例として車いすユーザへの参加型センシングを導入する際の課題を整理した。課題は、次の 3 点となる。

- ① 手動式車いすに対応する。
- ② 歩道の道路路面状態を把握できる。
- ③ スマートフォンを利用する。

個人の快適性を捕捉する機能をソフトウェアとして追加することによりこの 3 点に加えて、個別対応センシングを可能とするアプローチとして、感性入力センシング方式を提案する。この提案方式を三つの課題と個別対応センシングに対する適合性を評価すると表 4-1 のようになる。

表 4-1 広域エリアセンシング関連研究の課題に対する提案方式の対応

	手動車いす対応	道路路面状態把握	スマートフォン利用	個別対応センシング
3.3.2-(a)方式	適合	不適合	不適合	不適合
3.3.2-(b)方式	適合	適合	不適合	不適合
3.3.2-(c)方式	適合	適合	不適合	不適合
3.3.2-(d)方式	不適合	適合	適合	不適合
提案方式	適合	適合	適合	適合

4.4 狭域エリアセンシングの課題へのアプローチ

第 3 章で、狭域エリアセンシングの例として狭域エリアでの会議時の参加型センシングを導入する際の課題を整理した。課題は次の 4 点となる。

- ① 認証の通信要件として、TCP/IP を採用する（ネットワーク接続性）。
- ② 認証の通信要件として、狭域内で認証を完了する（ネットワーク効率性）。
- ③ 認証においてなりすましのリスクに対応する（安全性）。
- ④ 認証には利便性の高い方式を採用する（利便性）。

この 4 点に加えて、個人の感性情報を入力する機能をソフトウェアとして追加するアプローチにより、個別対応センシングを可能とする方式を提案する。この提案方式を四つの課題と個別対応センシングに対する適合性を評価すると表 4-2 のようになる。

表 4-2 狭域エリアセンシング関連研究の課題に対する提案方式の対応

	ネットワーク接続性	ネットワーク効率性	安全性	利便性	個別対応センシング
3.4.2-(a)方式	不適合	適合	不適合	適合	不適合
3.4.2-(b)方式	適合	不適合	不適合	適合	不適合
3.4.2-(c)方式	適合	不適合	適合	不適合	不適合
3.4.2-(d)方式	適合	不適合	適合	不適合	不適合
3.4.2-(e)方式	適合	不適合	適合	不適合	不適合
3.4.2-(f)方式	適合	不適合	適合	不適合	不適合
提案方式	適合	適合	適合	適合	適合

4.5 本研究の目的及び目標

まとめると、「個人にメリットを与えるセンシングデータ収集」というアプローチ、具体的には「各個人が五感で感じた感覚をスマートデバイスに入力することにより感性情報をセンシングする」方式にて参加型センシングの大量データ収集に係る課題を解決する。このことにより「参加型センシングの普及を通じて人々の生活を感性豊かにする」ことが本研究の目的であり、そのために、「個別対応に有効な、感性情報入力センシング方式を実現する」ことが目標である。

このために、第 5 章では広域エリアセンシング、第 6 章では狭域エリアセンシングのそれぞれの分野でひとつずつサービス例をとりあげ、個別対応可能な方式を提案し、検証を実施する。

第5章 広域エリアセンシングの1例である、車いすユーザのための快適性可視化方式の提案

本章では最初に、広域エリアセンシング(図 5-1)中に感性情報入力する方式として、「車いす走行支援システム」を説明する。その中で、車いすの振動をスマートデバイスでとらえてユーザの乗り心地を評価しガイドするための技術要件を抽出する。これにより車いすユーザ個別の乗り心地を考慮した路面の快適性可視化方式を提案する。次に実際にプロトタイプシステムを開発し走行時に得られた加速度および位置情報データを用いて結果のシミュレーションを実施し、個別対応し各人が乗り心地の悪い路面の可視化が可能であることを確認した。

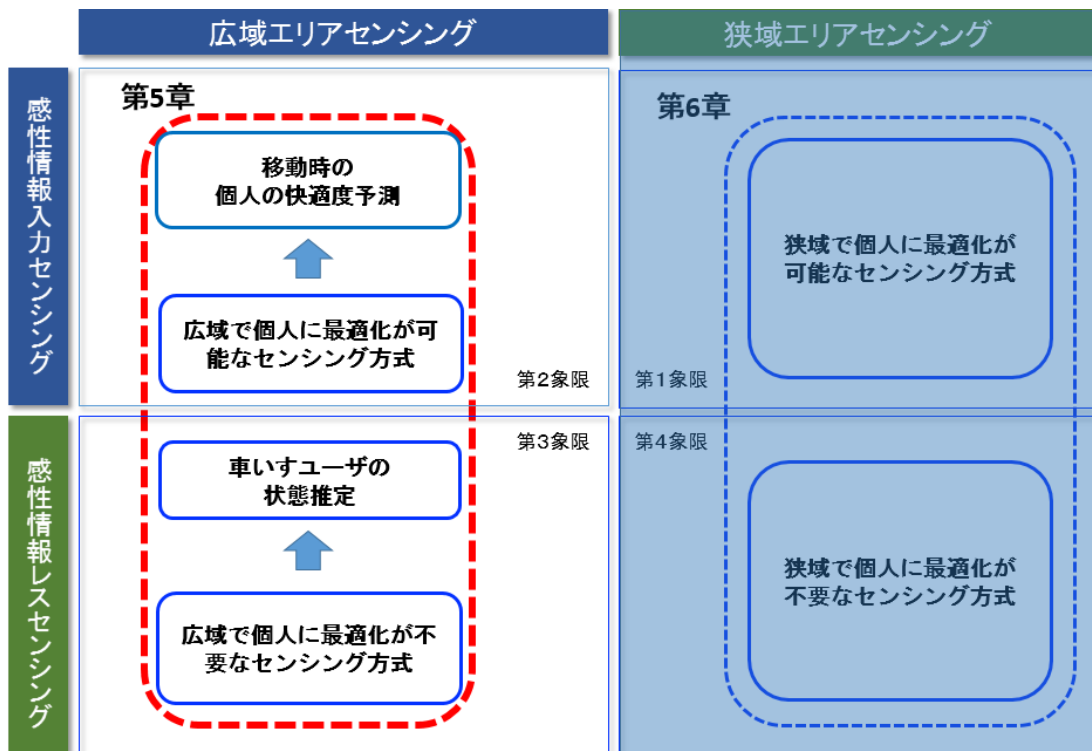


図 5-1 広域エリアセンシング

5.1 車いすユーザのための快適性可視化方式の提案の背景

日本は少子高齢化の時代をむかえている。このため車いすを使用するユーザも増加している。市場には様々な種類の車いすが流通しており電動車いすも改良されて普及してきた。しかし電動車いすは依然高価であり、一般のユーザが使用するまでには至っていない。学校や公共施設、職場などでの主要なモデルは人が介助することの可能な手動式車いすである。手動式車いすは学校や職場などで必要な人が利用する目的で気軽に借用することの可能な一般的なモデルである。本章のユースケースは車いすユーザが自宅からの通勤・通学時にバスなどから降りて職場・学校に到着するまでの道路で活用される手動式車いすを想定している。当研究では提案方式の評価を手動式車いすに限定して実施した。

一般に周りの人は車いすユーザがいかにかに常に乗り心地の悪い状態で車いすを利用しているのかについて想像することが難しい。特にその乗り心地の悪い地点の特定をすることも外見からだけでは難しい。平坦な道路であっても車いすのもつ微小な振動もひろう性質により、車いすユーザは乗り心地の悪さを感じる。典型的な車いすはチューブレスの小径前輪を使用している。前輪の直径は最も普及しているタイプで7インチである。前輪が小さい理由は、前輪が方向を容易に変える機能を果たすためである。このために手動式車いすは路面に対して敏感に反応する。前輪の小径のチューブレスタイヤは歩道の路面の違いを実に繊細にとらえ、これによって乗り心地の悪さが生じている。

歩道路面の乗り心地の悪さを可視化することにより、乗り心地の悪い地点を避けて通行することができるように誘導できる。乗り心地の悪さは車いすの速度とユーザの体重によっても変化する。傾斜の急な坂の場合には、車いすのユーザが速度を制御しにくくなるため危険である。悪い状態の歩道の直前でユーザがスピードを下げると、乗り心地の悪さは軽減される。屋外の場合、スマートフォン上のGPSセンサを利用して道路上の地点を特定することが可能である。

スマートフォン上のセンサは MEMS (Micro Electric Mechanical System) 技術 [89]の普及により一般的になってきている。2000 年以降 MEMS 技術は様々なセンサ技術として活用されている。例えば自動車では衝突を検知してエアバックを機能させるために加速度センサが活用され、安全運転をガイドするためにジャイロセンサが活用されてきた。またデジタルカメラのシャッターを押す際の手ぶれを防止するためにも活用されている。

スマートフォンを活用したライフログ分野では多くの研究者が活動している。スマートフォンを活用したライフログ収集は自動車、バイク、人間に焦点が当てられている。スマートフォンのユーザは 劇的に増加しているため、加速度センサ、ジャイロセンサなどがライフログの長期収集とデータの重要度を理解する人々の間で活用され始めている。スマートフォンと埋め込まれたセンサ技術を活用することにより比較的安価で有用なシステムを開発することが可能となった。本章ではスマートフォン上の 3 軸加速度センサと GPS センサを活用し、手動式車いすユーザのために乗り心地の悪い振動を判別する。

提案方式は、人に対して乗り心地の悪さを生じさせる振動の起こる路面の状態を判別する方式である。また一人一人の乗り心地の悪さを個別に入力する方式を提案する。本方式は一人一人の入力から個別の閾値を計算し、個々の乗り心地レベルに応じた悪路情報の可視化方式である。

5.2 車いすユーザのための快適性可視化方式の提案方式

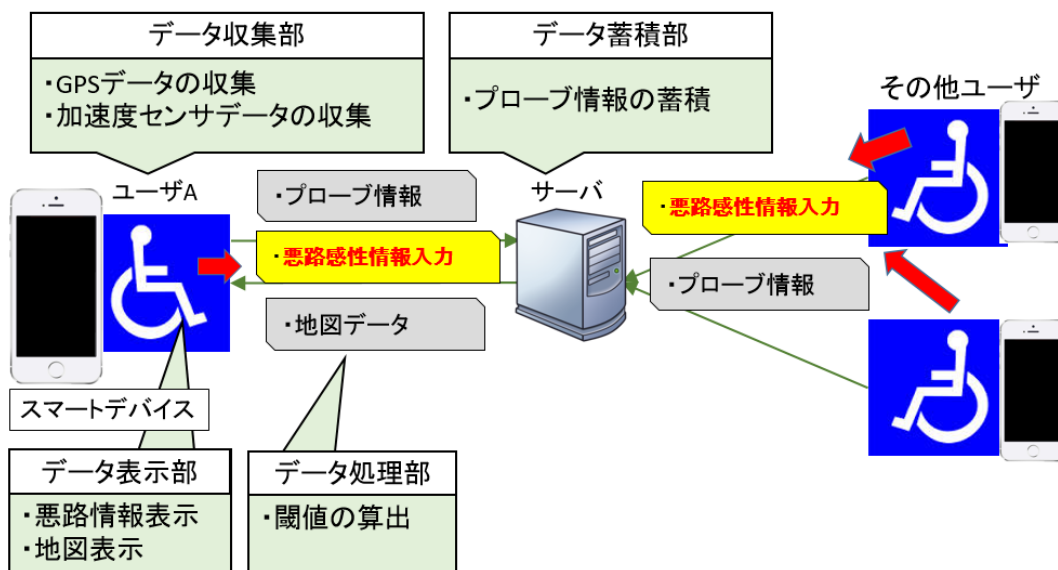
関連研究では導入コストが安いスマートフォンを利用し、路面における一人一人の乗り心地の基準を考慮した個別対応センシングにより、手動式車いすに対する路面状態を捕捉する方式が必要という課題があった。本節では提案方式がいかに関連研究における課題の解決を図るかを説明する。

5.2.1 提案方式の概要

本節における提案方式はスマートフォンの 3 軸加速度センサと GPS センサを用いて導入コストを抑えた。GPS センサによる位置情報を捕捉して、路面の乗り心地の悪さを検知するために対話型インターフェース方式を用いた。かつ乗り心地の悪さは人の感性に依存するため、個別の乗り心地の悪さを生じさせる路面を判別することにつながる。

本節の方式では乗り心地の悪さの原因となる加速度データを収集し、過去に車いすユーザが使った際のデータに基づいて潜在的に乗り心地の悪さを生じさせる路面のある地点を地図上に表示させる。提案方式の最終目標は乗り心地の悪い路面を回避するためのナビゲーションシステムの開発にある。

提案方式は図 5-2 のように四つのモジュールで構成される。今回過去のデータに基づき一人一人の乗り心地悪さを認識するために対話型の入力方式を導入したことが工夫した点である。第 1 のモジュールはデータ収集部であり、これはスマートフォン上で 3 軸加速センサと GPS センサで拾ったデータを収集する。2 番目のモジュールはデータ処理部であり、サーバ側で収集されたデータに基づき乗り心地の悪い閾値を計算する。3 番目のデータ蓄積モジュールはサーバ側でスマートフォンからのデータを受信する。4 番目のモジュールはデータ表示部である。一人一人の閾値を超えた振動による加速度を過去に計測し、スマートフォン上で既存の判明している乗り心地の悪い地点を地図上に表示する。



※プローブ情報=位置情報+加速度センサデータ

図 5-2 提案方式全体図

5.2.2 悪路情報の可視化

本項ではシステムの中でいかに提案方式が歩道の悪路情報を可視化できるかを述べる。スマートフォン上の加速度センサの値は図 5-3 のように測定される。一人一人が自分の ID を入力する時点から、提案方式のシステムはデータを蓄積し個々の車いすユーザの閾値を計算する。

5.2.2-(a) 移動開始

実験用スマートフォンとしては iPhone4 を用いた。データを収集するために手動式車いすの左側のアームに固定した。データ収集は図 5-4 のようにユーザが自分の ID を入力するとすぐに開始される。データ収集は 60 秒間継続されサーバに表 5-1 の形式で送信される。

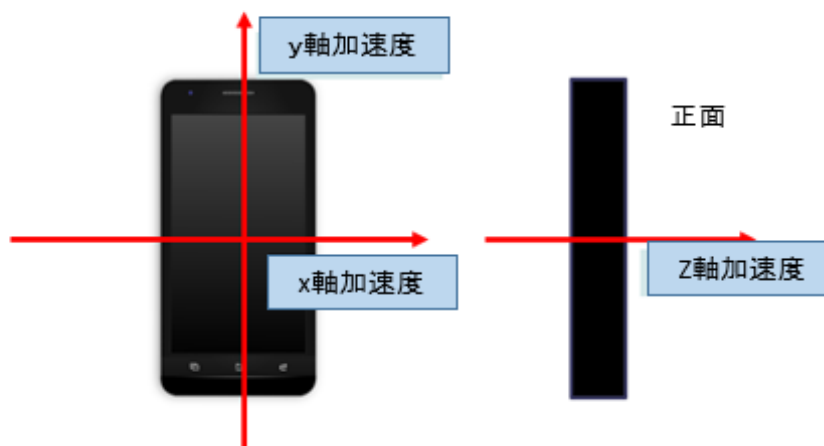


図 5-3 スマートフォンの加速度値

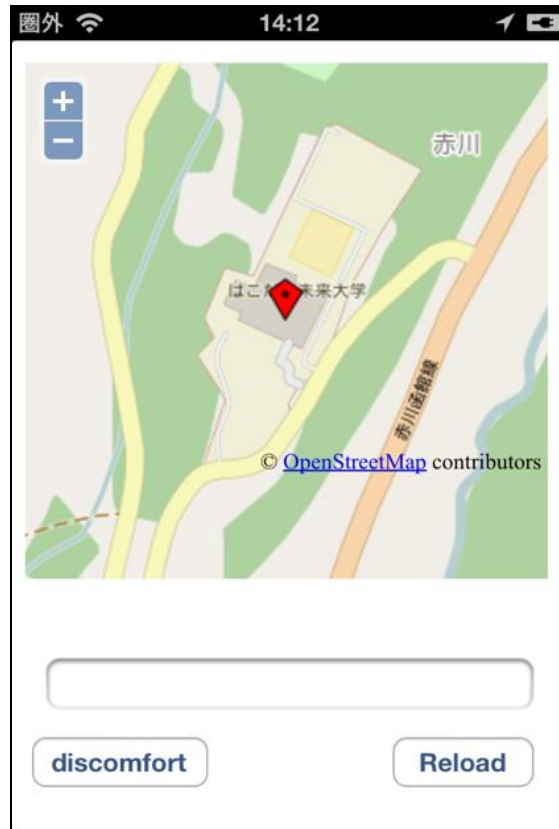


図 5-4 スマートフォン上のデータ収集用画面

表 5-1 サーバに蓄積されるデータ

UserID	ユーザ毎のID
Latitude	緯度:GPSセンサデータ値
Logtitude	経度:GPSセンサデータ値
AccelemerY	Y方向の加速度値

5.2.2-(b) データ収集

GPS センサからの経度・緯度情報と鉛直方向の加速度 y の最大値・最小値データがスマートフォンに 1 秒単位で収集される。そしてユーザーが乗り心地の悪い振動を感じた際に **discomfort** ボタンを押す。これが初めてのケースであれば図 5-5 のように値はそのまま DB に蓄積される。2 度目以降の場合には現在地と過去のデータの平均値として図 5-6 のように平均値が計算され DB に蓄積される。

—データ処理部—

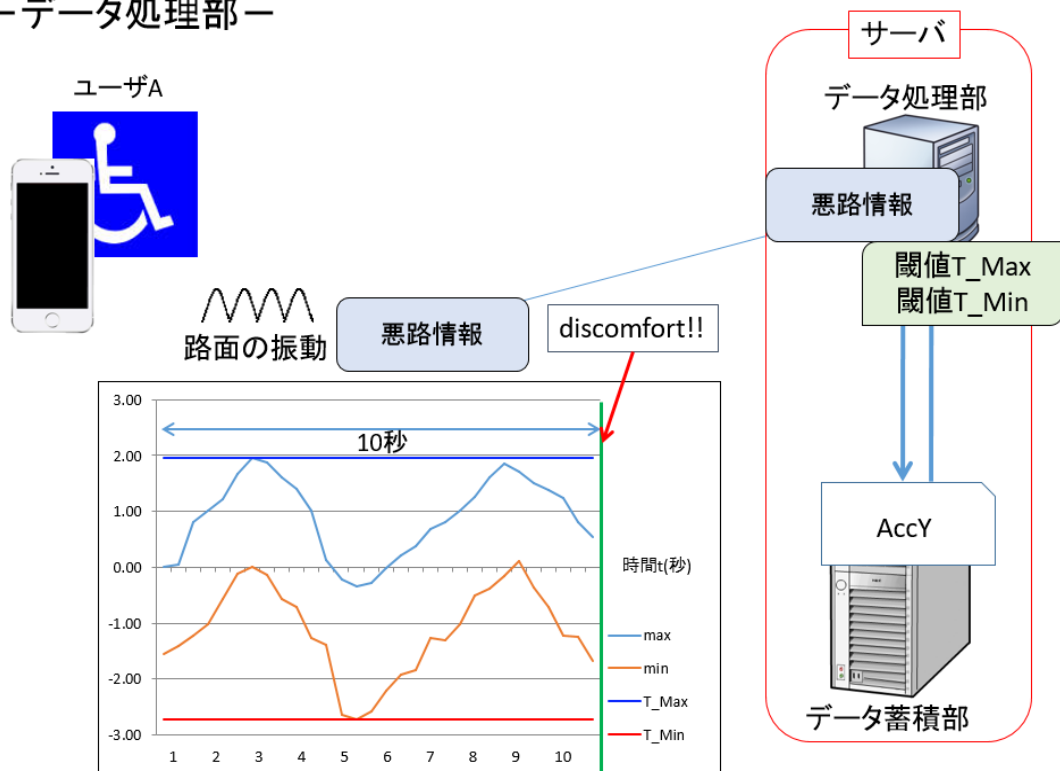


図 5-5 データ処理部(収集)

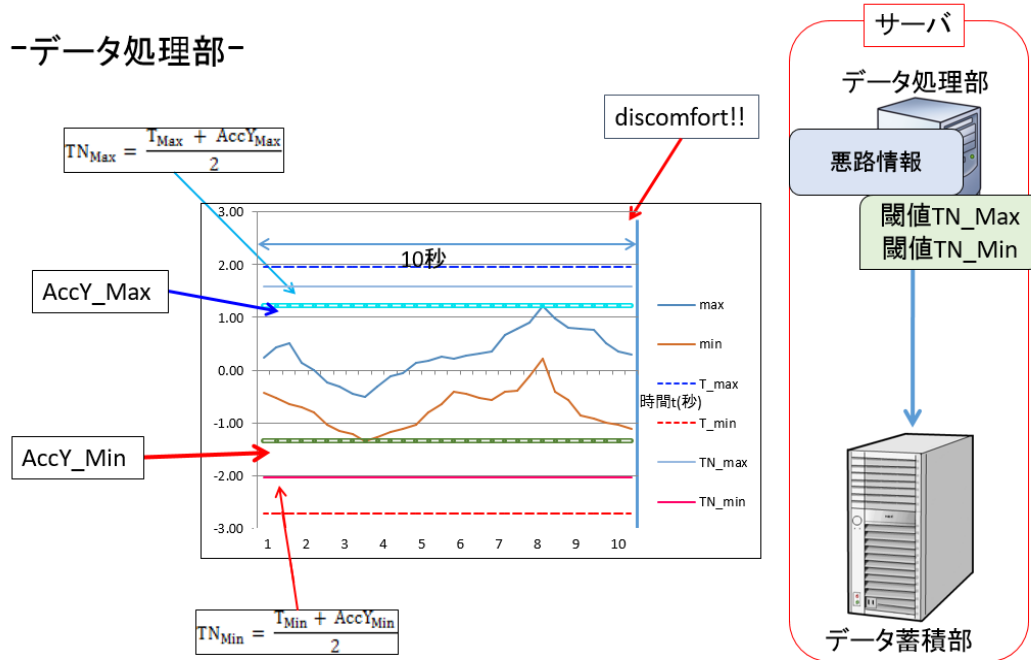


図 5-6 データ処理部（解析）

測定値は表 5-2 の形式で、DB に一人一人の乗り心地の悪くなる地点の振動加速度値として格納される。

表 5-2 DB に格納される値

UserID	ユーザ毎のID
Latitude	緯度:GPSセンサデータ値
Logtitude	経度:GPSセンサデータ値
AccelemerY	Y方向の加速度値
Threshold max	ユーザ毎のY方向加速度最大閾値
Threshold min	ユーザ毎のY方向加速度最小閾値
Comfort	不快と感じた地点

5.2.2-(c) データ表示

データ処理部が DB に対してデータを記録した後、収集されたデータの計算結果より導き出された悪路地点がスマートフォンの地図上に図 5-7 のように表示される。もしもある人の閾値値が自分の閾値を超えた場合、自分が通過する際には乗り心地が悪いと予測される地点として、地図上に表示する。

OpenStreetMapAPI [90] を表示用の API として採用した。

-データ表示部-

- 閾値を超える加速度センサデータを持つプローブ情報を地図上に表示
- 地図はOpenStreetMapAPIを使用

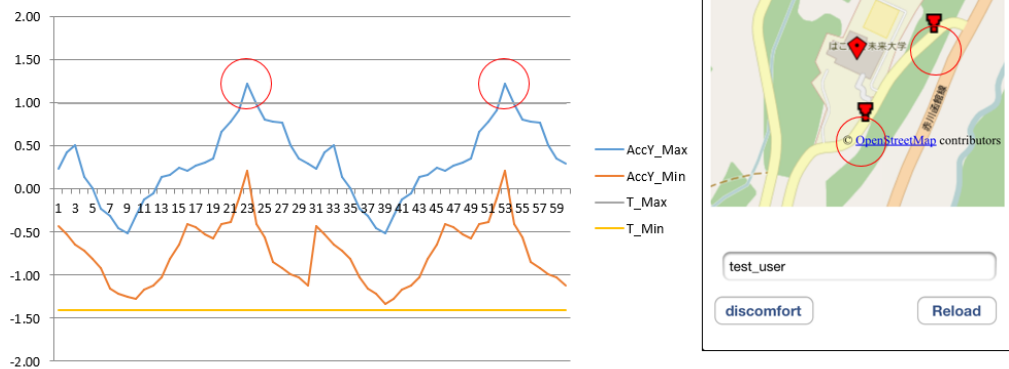


図 5-7 スマートフォン上のデータ表示部

5.3 車いすユーザのための快適性可視化方式の実証実験

本節では、提案方式を作成する前に実施した実験 1、実験 2 および提案方式を利用して効果測定をする目的で実施したシミュレーションについて説明する。そして考慮点に関して考察する。

5.3.1 実験内容

提案方式を考案するために、車いすの振動と実際の路面状態の関係を理解する実験を実施した。具体的には乗り心地の悪い振動を生み出す路面の正確な把握のために、屋内の実験 1 および屋外の実験 2 を実施した。その結果手動式車いすの前輪チューブレスタイヤは路面の段差に敏感に反応し振動の大きさが変化することを発見した。実験の手順は以下のとおりである。

- ① スマートフォンは、手動式車いすの左のアームに図 5-8 のように固定した。実験 1 では、間隔の異なる 2mm の厚さの板および 4mm の板を図 5-9 のように設置したテストボードの上を走行し、スマートフォン上のアプリケーションである HASCLogger[91][92]を使用してデータを収集した。
- ② 直径 7 インチの前輪と直径 24 インチの後輪を備えた一般的な手動式車いすを使用した。
- ③ 4 種類の間隔の異なるパターンを 2mm の板と 4mm の板で、合計 8 種類のテストボードを作成した。
- ④ 8 種類のテストボードに対して 5 人でそれぞれ 5 回の実験を実施した。(4 パターン x 2 種類の高さ x 5 回 x 5 人 = 200 回)。
- ⑤ 5 人のテスターは体重がそれぞれ異なる学生 (55kg,58kg,64kg,65kg,73kg)
- ⑥ 実験 2 では 5 人の学生が大学の玄関から大学前のバス停までの道路を往復する走行試験を実施した。

実験 1 では、室内で左のアームに固定されたスマートフォンがテストボードの上で、車いすの前輪のチューブレスタイヤがどのように振動を感知するか試験した。テストボードは、図 5-9 のようにスマートフォンの加速度センサが、

テストボードの間隔を鉛直方向の加速度の値としていかに正確に振動としてとらえることができるかを判別するために、設計されたものである。振動の生データは 図 5-10 のようにノイズが合成され、テストボードの間隔を正確に振動で捕捉しているかどうかを判別するのが難しい。



図 5-8 実験環境

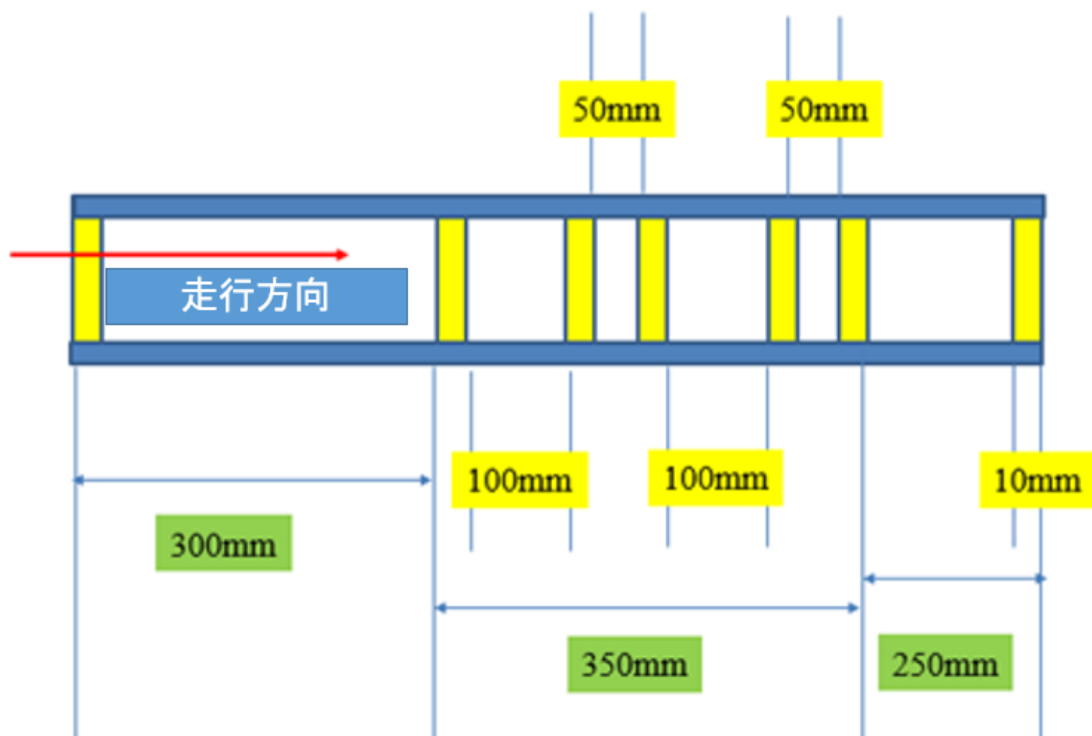


図 5-9 テストボードの 1 例

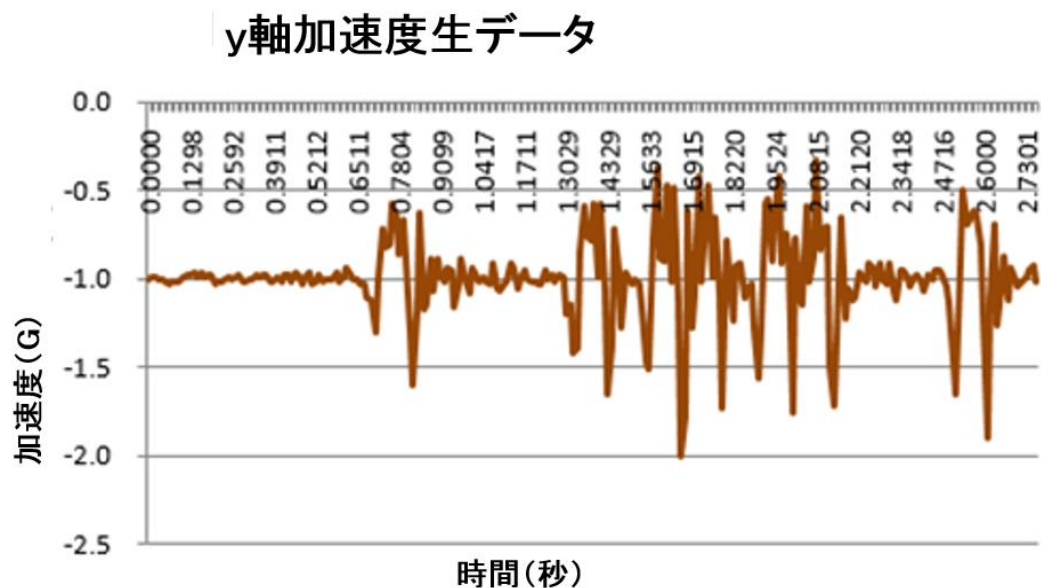


図 5-10 鉛直方向の加速度生データ

加速度データを4点移動平均[93]でフィルタすることにより、ノイズが除去されることが判明した。加速度データの収集頻度は100分の1秒のため100分の4秒分のデータが平均されている。図5-10の加速度データの生データが図5-11のようにノイズがカットされている。図5-9のテストボードの間隔と振動のピークがどの程度類似しているか比較するために単純化すると、図5-12のようになる。200回のテストの結果、ほぼ100%の確率でスマートフォンの加速度センサのデータにより段差を検知することが可能であった。

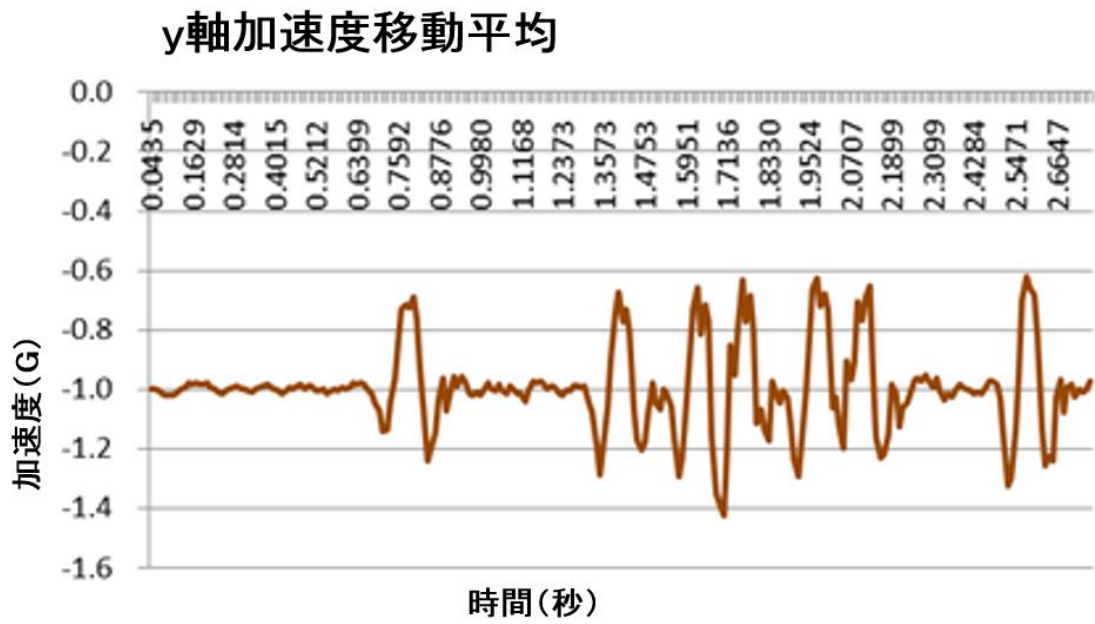


図 5-11 鉛直方向の加速度データの4点移動平均

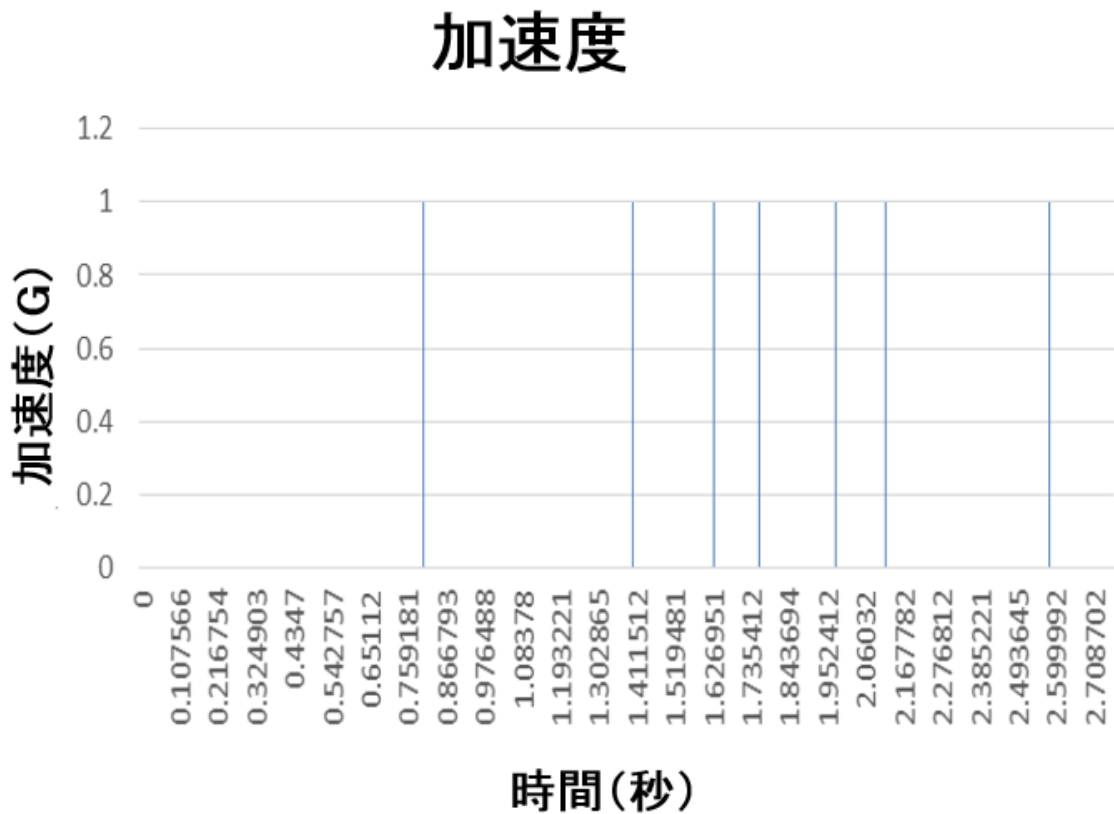


図 5-12 単純化したグラフ

実験 2 では、大学屋外の道路で走行実験を実施した。玄関口からバス停まで図 5-13 のような経路を走行することにより、車いすに取り付けたスマートフォンが加速度データおよび GPS データを捕捉できた。また車いすユーザの声を拾い、どういった路面上を走行しているのかを目で確認するために、車いす走行時の動画をもう 1 台のスマートフォンで撮影した。

5.3.2 インタビュー結果

実験 2 の 5 名の走行実験後，表 5-3 で示される基準で SD (Semantic Differential) 法[94]によりインタビューを実施した．インタビューシートにより，5 人のテスターから，快適度，安心度，安定度に関する回答を入手した．

回答を得た 3 項目を統合した「乗り心地の良さ」と「安全度」という新しい指標を二つ作成した．

第 1 項目は乗り心地の良さである

乗り心地の良さ = 快適度 + 安心度

第 2 項目は安全度である

安全度 = 安心度 + 安定度

次元の縮小をする主成分分析[95]により結果を分析した結果を散布図で表した図が図 5-13 である．その結果一人ひとりの乗り心地の良さや安全度の受け取り方は各人各様であり，分布にはばらつきがあることが判明した．実験 1 および実験 2 で判明したことは以下のとおりである．

① 200 回の実験で 2mm と 4mm 路面上の段差の間隔をほぼ 100%の正確さで捕捉できる．

② 主成分分析散布図より，路面からの振動を通じて感じる車いすの乗り心地は一人ひとり異なる．

このことから，車いすの乗り心地の基準として振動の大きさを全員共通の標準レベルを規定するのは難しいことが判明した．乗り心地は個人個人の感性により異なる．

実験 2 のデータに基づいて，提案方式がどのように効果的に悪路情報の可視化を実施できるかシミュレーションを実施した．

表 5-3 インタビューの方法

車いす乗り心地アンケート									
不快	非常に	かなり	やや	どちらでもない	やや	かなり	非常に	快適	
不安定	非常に	かなり	やや	どちらでもない	やや	かなり	非常に	安定	
不安	非常に	かなり	やや	どちらでもない	やや	かなり	非常に	安心	

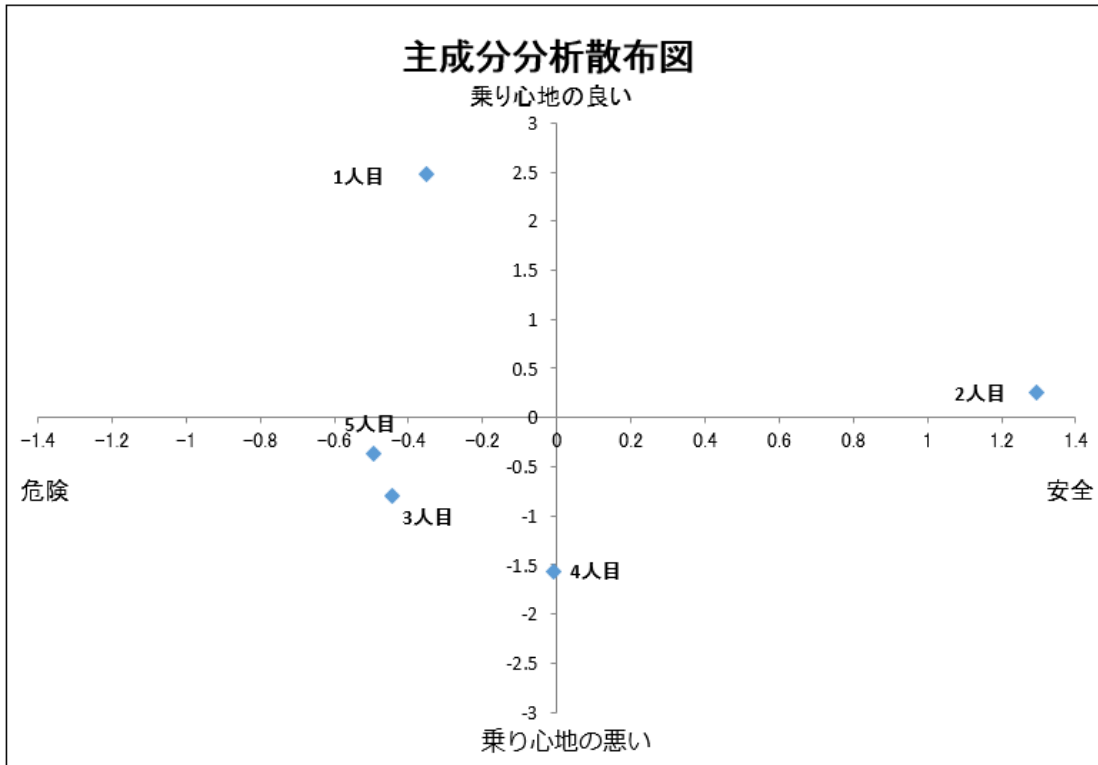


図 5-13 主成分分析散布図

5.3.3 シミュレーション結果

実験 2 で、大学の玄関口からバス停まで、スマートフォンの GPS センサと加速度センサによりデータを収集した。GPS データを Google Map に入力し、撮影された動画と振動データの突合により走行開始後 27 秒、45 秒、57 秒地点で乗り心地の悪い振動をユーザが感知したと仮定した。図 5-14 において 1 は 27 秒地点、2 が 45 秒地点、3 が 57 秒地点である。

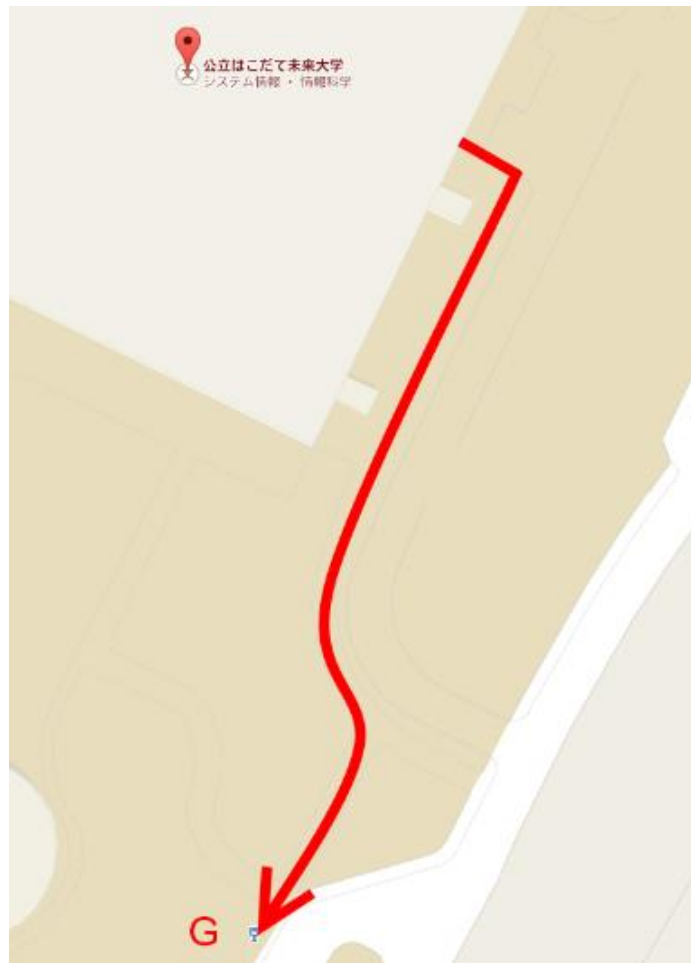


図 5-14 大学の玄関口からバス停までの経路

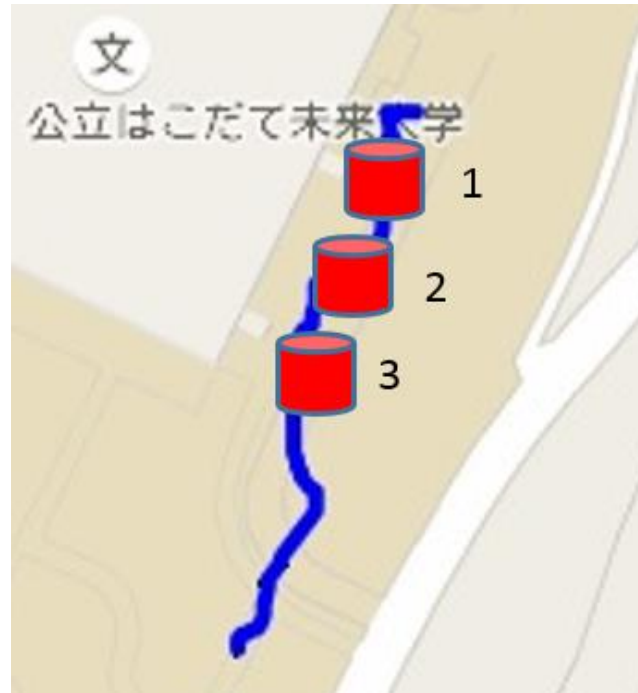


図 5-15 シミュレーションによりプロットされたデータ

撮影された動画から、図 5-15 の 1, 2, 3 の地点は図 5-16 のような点字ブロックが配置されているような車いすの振動を生じやすい路面であることが判明した。

また車いすで収集されたログデータにより得られた加速度の最大・最小のデータをグラフ化すると、図 5-17 から図 5-19 のようになる。

地点 1 の路面データが図 5-17, 地点 2 の路面データが図 5-18, 地点 3 の路面データが図 5-19 である。これらのグラフと最大値・最小値が走行時の車いすユーザの閾値を計算する元データとなる。



図 5-16 凹凸の激しい歩道



図 5-17 地点 1 の最大値および最小値



図 5-18 地点 2 の最大値および最小値

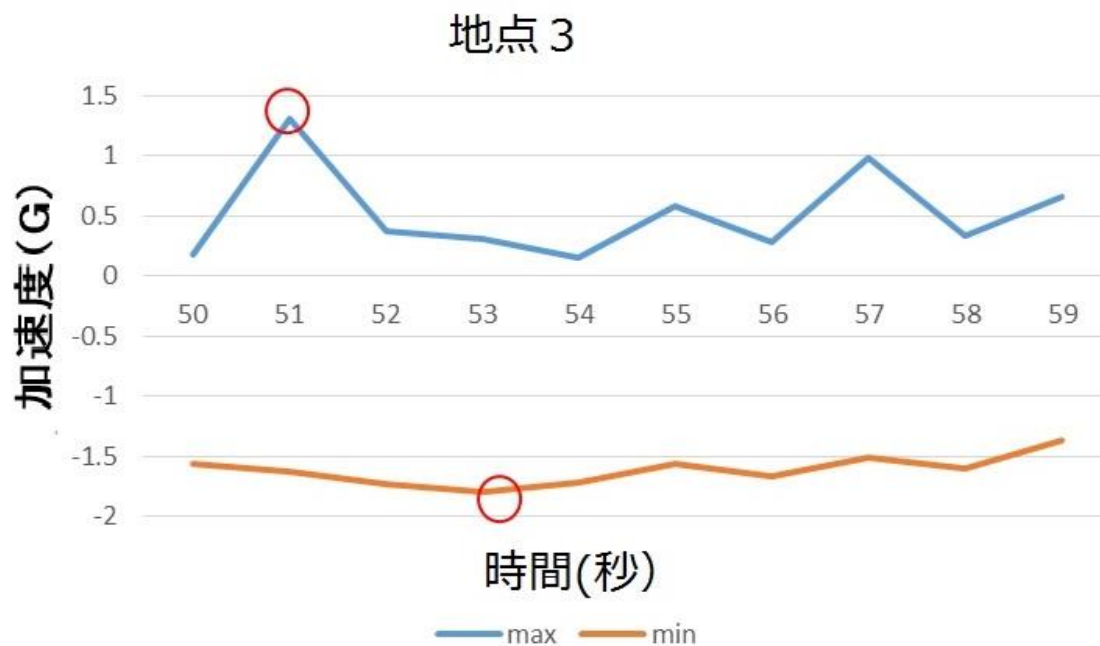


図 5-19 地点3の最大値および最小値

スマートフォンに蓄積された実際の加速度データは表 5-4 の通りである。車いすユーザはスマートフォンの画面を通じて悪路情報を得ることが可能となる。

表 5-4 実際の加速度データ

	実際の値		計算後の閾値	
	Y方向の加速度 最小値(G)	Y方向の加速度 最大値(G)	Y方向の加速度 最小値(G)	Y方向の加速度 最大値(G)
地点1	-2.0084475	1.14548875	-2.0084475	1.14548875
地点2	-2.007637	0.96374525	-2.00804225	1.054617
地点3	-1.79909875	1.038414	-1.9035705	1.0465155

5.3.4 考察

本項では実証結果について考察する。提案方式が一人ひとりの感じる乗り心地の悪い地点を可視化できることを実証した。ただし実験結果に対して二つの考慮点がある。

第一の考慮点は車いすの速度である。車いすが停止している状態では振動は生じない。岡村らの研究結果によると振動加速度実効値は速度の変化に対して線型的な関係がある。速度が超過すると、通常の数値では乗り心地の良い路面でも、乗り心地の悪い路面として評価される場合がある。日本では車いすの走行速度は時速 6 km 以下 (1,667m/sec) という法定速度がある。そこで時速 6km 以上で移動している際に収集された振動加速度データは無視するというようなことを考慮する必要がある。

第二の考慮点は、測定可能な最小値の変化幅が小さいということである。重力の関係で、静止点での鉛直方向の振動加速度は $-1G$ である。今回使用したスマートフォン(iPhone4)での測定可能な最小値が $-2G$ 、最大値が $2G$ であるため、最大値の変化幅が $3G$ 、最小値の変化幅が $1G$ と大きな差が生じている。このため、最大値のほうがより細かく測定することが可能である。このことを考慮した指標の確立が必要である。

5.4 車いすユーザのための快適性可視化方式の提案のまとめ

広域エリアセンシングの 1 例の「車いすユーザのための快適性可視化方式」の関連研究では、3 軸加速度センサなどのセンサ導入コストと個人ごとの乗り心地をとらえる方法に課題があった。そこでスマートフォンの 3 軸加速度センサおよび GPS センサを用い、対話型で車いすユーザがスマートフォンに乗り心地の悪い地点でのスマートフォン上でのソフト的なボタン入力方式で一人ひとりの主観的な悪路情報を捉える方式を提案した。車いすユーザは提案方式を利用することで個々人に応じた悪路情報を得ることが可能である。提案方式の実用性を評価する目的で、二つの実証実験を実施した。実験 1 は路面状態と路面状態に応じた手動式車いすの振動との関係を明らかにする屋内実験である。実験 2 は屋外を走行する実験で、この実験データを基にして提案方式が個人の快適度対応に効果的であるかどうかのシミュレーションを実施した。

二つの実験により、以下の結論を得た。

- ① スマートフォン上の 3 軸加速度センサを活用して一般的な手動式車いすのユーザが路面から伝わる振動加速度を捕捉し、ユーザの不快感の入力を可能とするインターフェース（図 5-4）により乗り心地として評価することができる。
- ② 得られる振動加速度の時系列データのノイズを 4 点移動平均でフィルタすることが可能である。
- ③ スマートフォン上の GPS センサと加速度センサの組み合わせにより車いすの乗り心地の悪い地点を捉えることが可能である。
- ④ 一人ひとりの閾値を取得した後で過去のログデータの他人のデータから自分に合った悪路情報を得ることが可能である。

また、シミュレーション結果により次の結論を得た。

- ① ユーザはスマートフォンの画面入力により、個別の快適さを入力できる。
- ② ユーザはスマートフォンの画面を通じて悪路情報を入手することができる。

今後は実際の道路でシミュレーションでなくアプリケーションを稼働しナビゲーションシステムとしての機能評価を実施したい。また今回はユーザが通過した情報をもとに車いすユーザのための快適性可視化方式を提案している。この方式では初めて走行する人が悪路により乗り心地の悪さを経験することとなる。これを事前のプロブシステムであらかじめ測定しておく方式の開発も必要である。さらにジャイロセンサを活用したスロープの認識やプロブデータの大容量化に伴いサーバのスケラビリティも重要である。

今回屋外での位置情報を捕捉する手段として、スマートフォンのGPSセンサを活用した。このGPSセンサでは10m程度の誤差が生じる場合がある[96]。図5-20のような道路の両側のどちらの歩道を走行しているのかわからなくなる可能性がある。こうした誤差を修正する手段を確立する必要がある。



図 5-20 道路わきの歩道①②

第6章 狭域エリアセンシングの基盤技術と新しい個別対応情報共有方式の提案

本章では、狭域エリアセンシング（図 6-1）として基盤技術である「狭域エリアの ICT 高度利用のためのグルーピング方式」と、個別対応可能な具体的なアプリケーションである「狭域エリアの新しい個別対応情報共有方式」に関して記述する。待ち合わせ場所や飛行場の打ち合わせスペースといった極めて狭い範囲（狭域エリア）での ICT 高度利用に関しては、目前に存在する情報共有対象者の ID を遠隔地のサーバで管理したり、本人を容易に識別できるにも関わらず認証サーバを要したりと、ネットワークリソースの活用が非効率的であるという問題があった。そこで、遠隔地との通信環境に依存せずに処理を実施するエッジコンピューティングの一種であるデューコンピューティングを応用したエンドデバイス間のサーバレスの通信技術でネットワーク接続性と高いネットワーク効率性を実現し、これまで着目されていなかった人の識別する力を活用して、安全性の確保された利便性の高い認証技術を提案する。この方式を用いて、狭域エリアにおける ICT 高度利用システムについて新しい基盤技術を提案し利便性の高さを実証するための実験を行った。これにより、人の識別能力の活用が、実用的なレベルの利便性を実現しており、狭域エリアにおける ICT 高度利用システムに有用であることが示された。また狭域エリアの新しい個別対応情報共有方式は、会議の進捗状況を個人の発信状況を含めて捕捉でき、個人個人の会議内容に関する習熟度理解やそれに基づく教育計画の立案に有用な人事情報に進展させることができることが示された。

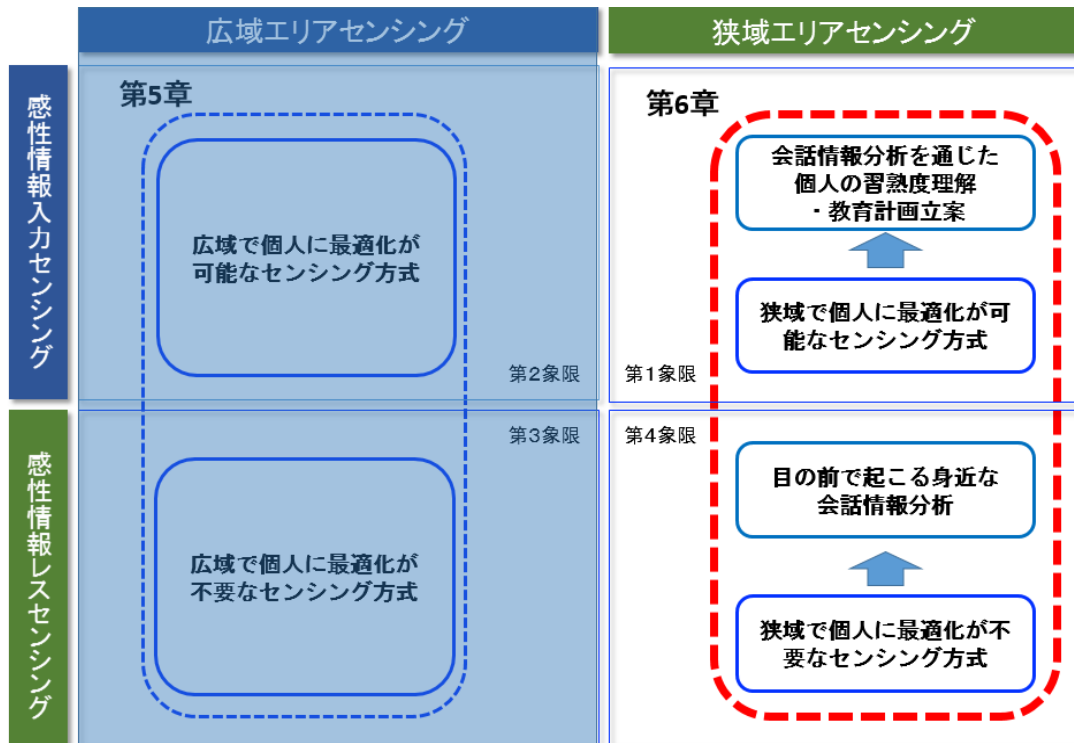


図 6-1 狭域エリアセンシング

6.1 狭域エリアセンシングの基盤技術と新しい個別対応情報共有方式の提案の背景

狭域エリアにおける人と ICT システムにおいては、通信方式は、インターネットもしくは LAN/WAN にもネットワーク接続性が確保されたエッジコンピューティング方式で基盤を構成し、認証および情報共有の場面では、ネットワークリソースの活用が効率的なエンドデバイス同士でデューコンピューティングを実現する新しい考え方が必要である。

また狭域エリアにおける本人認証に、これまで着目されてこなかったその場にいる全員の識別する能力に着目し、安全性が確保され利便性の高い認証を目指した。

本節では上記で紹介した狭域エリアにおける ICT を使ったサービスを俯瞰的に捉えて、技術的な要素について検討する。具体的には狭域エリアでの通信方式と認証方式について述べ、その有効性について検証する。

本章の構成を示す。6.2 節で狭域エリアにおける通信方式と認証方式を実現する基盤技術を提案し、ネットワーク接続性と効率性および安全性に関する理論的検証を実施し、6.3 節では実験で基盤技術の有効性を検証する。6.4 節で狭域エリアにおいて匿名性や評価を加味することが可能な新しい個別情報共有方式を提案し、6.5 節では通信方式と認証方式およびその上に搭載するサービスアプリケーションを実装したスマートデバイスを使用した実証実験で、個別情報共有方式の有効性を検証する。6.6 節では実証実験で得られたこれまで ICT の高度利用がされていなかった狭域エリアでの情報共有で、会議内容を通じて理解できる個別の習熟度の理解や、それに基づく教育計画の立案に有効な人事情報に進展させる可能性に関する考察をし、6.7 節でまとめを行う。

6.2 狭域エリアセンシングの基盤技術の提案方式

通信方式としては、エンドデバイス同士のデューコンピューティングを実現する新しい考え方を提案する（図 6-2）。

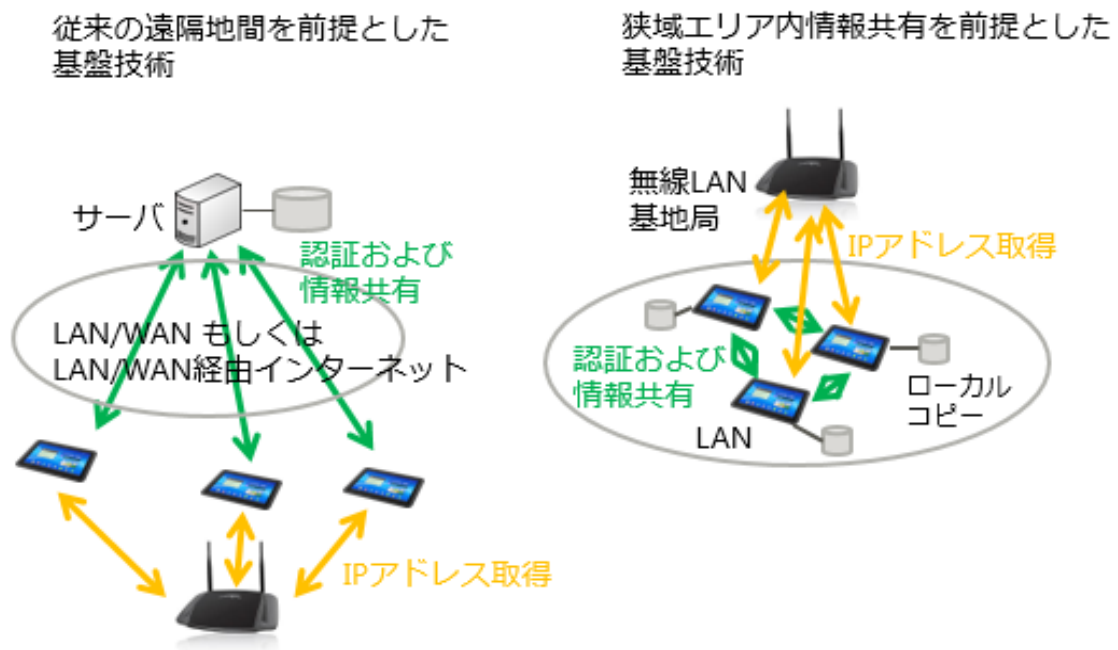


図 6-2 従来の遠隔地間と狭域エリアの基盤技術の違い

具体的には IP アドレスは無線 LAN アクセスポイントから取得し，認証においてはエンドデバイス間で通信する．このことにより，ネットワーク接続性を確保しながらネットワークを効率的に活用し，サーバレスでお互いのメモリをグループ形成するための共有メモリとして利用しこれを仮想的なサーバと位置づける．

グループ内の複数の端末は同一のサブネット内に存在するが，グループを管理したり，認証アカウントを管理したり，共有メモリを提供するサーバは存在しない．分散共有メモリは，それぞれの端末内にある共有メモリを同期する事で構成する．分散共有メモリと端末内機能構成図を図 6-3 に示す．

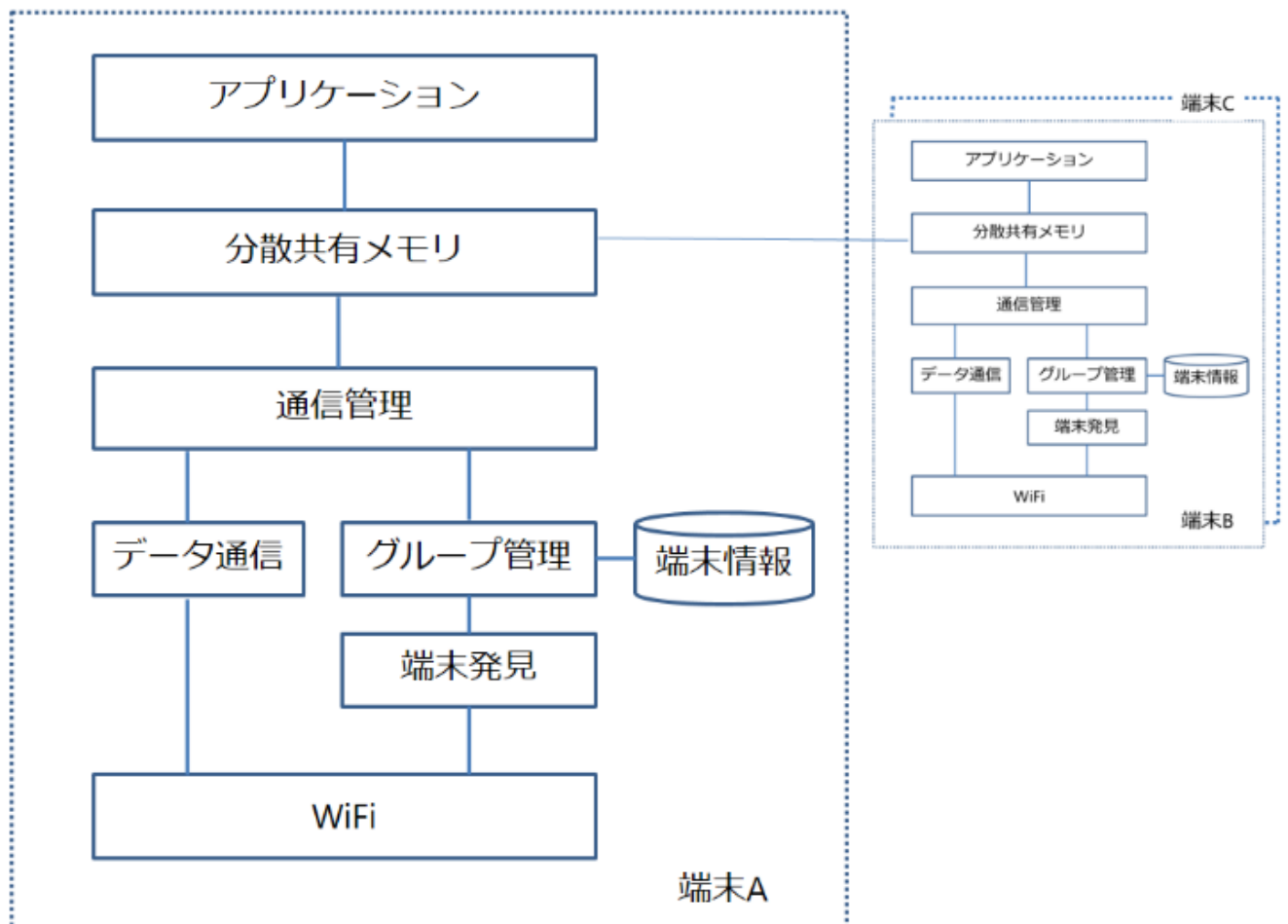


図 6-3 端末内機能構成図

認証方式は、安全性が高くかつ利便性の高い方式を提案する。安全性とは情報共有システムにおけるセキュリティ要件を満たして安全であることである。また利便性としては、動的にグループを形成する際に認証のために事前に参加者の設定が不要であること（利便性の要件1）と、認証動作の人への負荷が軽く、実用的な時間内に認証が終了すること、具体的には10名程度の参加者の会議を前提としているため全員が集合してからのグループ形成時間は60秒程度（利便性の要件2）と定義する。本節ではまず認証における安全性と利便性についてタブレット端末と人の協働関係を実現する認証方式と通信方式について述べる。

今回提案の認証方式ではブロードキャストが届く範囲である同一サブネット上に参加者全員のタブレット端末が存在することが必要条件となり、信頼関係のある参加者同士の通信のみ可能である。

表6-1は物理的に遠い距離を技術的に近くする為の従来型ネットワークと狭域エリアで利用するネットワークを比較した表である。狭域エリアネットワークの場合は識別対象が端末ではなく人である事がよくわかる。

表6-1 従来と狭域エリアでのネットワーク構成の比較

ネットワーク技術	従来ネットワーク	狭域エリアネットワーク
通信	クラウド対応階層型ネットワーク	サーバレスローカルネットワーク
認証	認証情報 (ID/パスワード)による識別	人による識別と 端末による 妥当性の検証
識別対象	端末 人→(端末⇄端末)←人	人 人←→人 ↓ ↓ 端末 端末

6.2.1 狭域エリアにおけるグループ認証方式

なりすまし対策としてグループ認証方式を提案する。狭域エリアでのサービスを提供するには同じサービスを楽しむグループを定義する必要がある。その際、相手は識別できるが、相手が持っている端末をネットワーク上で識別する事は難しい。一般的にはグループ内の代表端末を一時的なサーバとし、そのサーバに他端末がつながる方式がとられる[97]。しかし、その為には対象端末の管理者からその端末の ID を事前に知らされる必要がある。動的に集まるグループにおいては、会議参加者を取りまとめる人は必要であるが、その場の誰でもよいという前提である。このため、事前に取りまとめ役を定義しておく必要はない。一時的にサーバとなる端末の選定をし、その端末 ID をグループ内の他のメンバに通知する事は困難である。一方、人がグループ内のメンバを識別する事は容易である。そこで、共通のアプリケーションをそれぞれの端末に入れ、グループ形成時にそのアプリケーションを起動することとする。グループメンバの識別は人が対応し情報の妥当性の検証は端末が行う事で、ICT と人を組み合わせたグループ形成方式を採用した。図 6-4 に認証ステップを示す。

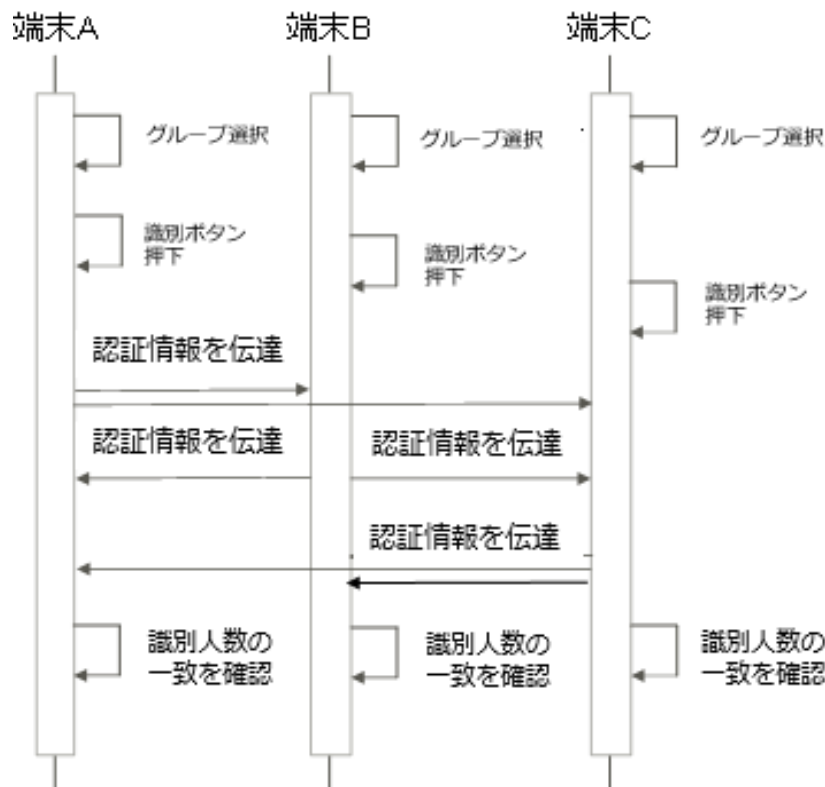


図 6-4 グループ認証のシーケンス

この認証の特徴は人と ICT の作業分担である。参加者が、アプリケーションを立ち上げると、現在同じサブネット内で使用されていないグループ名をアプ

リケーションが自動的に生成する。自動生成されたグループ名はアプリケーションがブロードキャストで同じサブネット内にある端末に通知する。最初にアプリケーションを立ち上げたメンバが自分のグループ名を他のメンバに口頭で通知することにより、メンバは指定されたグループ名を選択することが可能となる。人はグループの参加者を識別する度にボタンを押す。端末は押された回数をカウントし、その情報を同一サブネット内の端末に識別情報として通知する。つまり、ほぼ同時刻（30秒以内）に起動したアプリケーションを有する同じグループの参加人数をそれぞれの端末間で比較する事でグループの形成可否を判断する。基本的には、必要最小限なメンバがそろった段階で全員がアプリケーションを立ち上げるため、30秒以内という想定をしている。

全員の入力するメンバ数が完全に一致するまで会議が開始されないため、アプリを持つ参加権限のないユーザがなりすまして狭域空間内においても参加を拒否される。すなわちこの認証は参加者同士の信頼関係によりアクセス制御機能を提供し、安全性が確保されている。またこの認証は、参加者間での情報の共有が主たる目的であり、お互いの信頼関係によりアクセス制御が完結するため、事前の会議参加者の設定も、アクセス権限の個別設定も不要である。これにより利便性の要件1が満たされている。グループ形成時の人数情報は、認証時にブロードキャストを用いて伝達する。各端末は、IPアドレス等の端末情報、入力された人数情報等の認証に必要な情報等をパケットに載せてローカルエリアネットワークのサブネット内にブロードキャストする。端末情報は(1) 端末のIPアドレス (2) 端末のMACアドレス であり、認証に必要な情報とは (1) 入力された人数情報 (2) グループ名 (3) アプリの起動時刻 のことである。

実際のデータ形式は、例えば以下のような形式で送受信される

device_ip_address : タブレット端末のIPアドレス

device_mac_address : タブレット端末のMACアドレス

device_number : 入力された人数

device_group : グループ名

startup_time : アプリの起動時刻

他端末は、ブロードキャストで通知される情報を元に、どの端末がサブネット内に存在するのかを検出する。これによってユーザは識別した相手の端末 ID を知る事なく利用できるようになる。

グループのメンバ数を人が数えて入力する場合、何か他の仕草に当てはめて数えることがある。例えば指差しにあてはめたり、言葉にあてはめたりする事で数を数える。つまり数を数える事は人にとって得意な処理ではない。従って、人は人の識別のみを行い、人数加算は指の操作を端末で行うという形で作業を分離する事は、それぞれ得意とする処理を行う上で重要と思われる。図 6-5 に後述の実装アプリ例である模造紙アプリでの、各自の端末に表示されるグループ形成画面を示す。左中央に識別ボタンがあり、人は参加する人が正しい人であると判断すればボタンを押下する。他のメンバも識別する毎にボタンを押下する。端末は押された回数をネットワークに送信し、他の同グループの端末情報と比較する事でグループ形成可否を判断する。上記の方式を使う事で、事前に特定のグループに向けた設定や、ID/パスワードなどの認証情報を入力することなくグループ形成が可能となる。



図 6-5 認証画面

グループ形成時における状態遷移図を図 6-6 に示す。

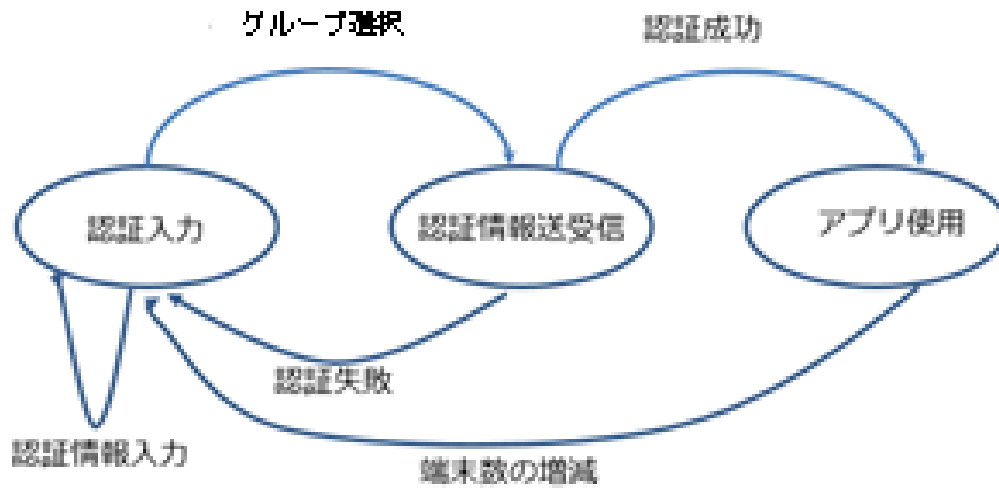


図 6-6 グループ形成における状態遷移

提案方式を導入したタブレット端末は、認証入力状態→認証情報送受信状態→アプリ使用状態に遷移する。この状態管理は共有メモリ上で実施される。通常は認証入力状態でリーダーのタブレット端末が狭域空間へ立入り、グループ名が指定され認証が入力されると、このデバイスは認証情報送受信状態となる。メンバ全員の認証が正常終了すると、アプリ使用状態に遷移する。会議が終了すると認証入力状態に戻る。

途中退出する参加者がいる場合には2通り想定される。皆に退出を告げて電源 ON のまま立ち去る場合と、電源を OFF して立ち去る場合である。電源 ON のまま立ち去る場合は退出を確認する画面が他のメンバのタブレット端末に表示される。ここで OK すると共有メモリで管理されている人数が減ることとなり、正常状態が保たれる。電源 OFF して立ち去る場合には退出するメンバの状態は、会議状態から変更されないため会議の総人数は減るが、共有メモリ上で管理されている人数は減らない。この時、権限のない人物が参加者になりすまして会議情報共有システムにアクセスする危険性が想定されるため、図 6-7 のように再認証が必要となる。

後から参加する参加者がいる場合総人数が増加し、新たなメンバの信頼関係を確認する必要があるため、アプリ使用状態から再度認証入力状態に戻り、グループ認証が開始される。なお共有メモリ上の会議のログ情報には位置情報（無線 LAN の MAC アドレスとグループ名）および参加者のタブレット端末の IP アドレス、MAC アドレスが記述されており、参加者としての記録は保持される。

6.2.2 狭域エリアにおける通信方式

サーバレスの認証を実現するために前節で説明したグループ情報を利用する。グループを形成している端末にはグループ内の他端末の IP アドレスが記録されている。この情報を使って各端末がお互いに情報を交換し合う事で分散された共有メモリ（分散共有メモリ）を作る事ができ、グループ内で仮想的なサーバとして利用する事ができる（図 6-7）。分散共有メモリは以下の方式で実装されている。

【方式】 ローカル・ブローキャストおよびブロードキャストレシーバ

【アルゴリズム】 ローカル・ブロードキャスト（大きく分けるとダイレクト・ブロードキャストとローカル・ブロードキャストに分けられ、ローカル・ブロードキャストは同じサブネット内にブローキャストパケットを配信する）によって同じサブネット内にある端末に情報を送信する方式である。

【実装方法】 ブロードキャストレシーバでデータを取得し、格納するための配列のデータ構造は下記のような形式である。

wlan_mac_address : 無線 LAN ルータの MAC アドレス

auth_status : グループ形成時の状態

device_ip_address : タブレット端末の IP アドレス

device_mac_address : タブレット端末の MAC アドレス

device_number : 入力された人数

device_group : グループ名

startup_time : アプリの起動時刻

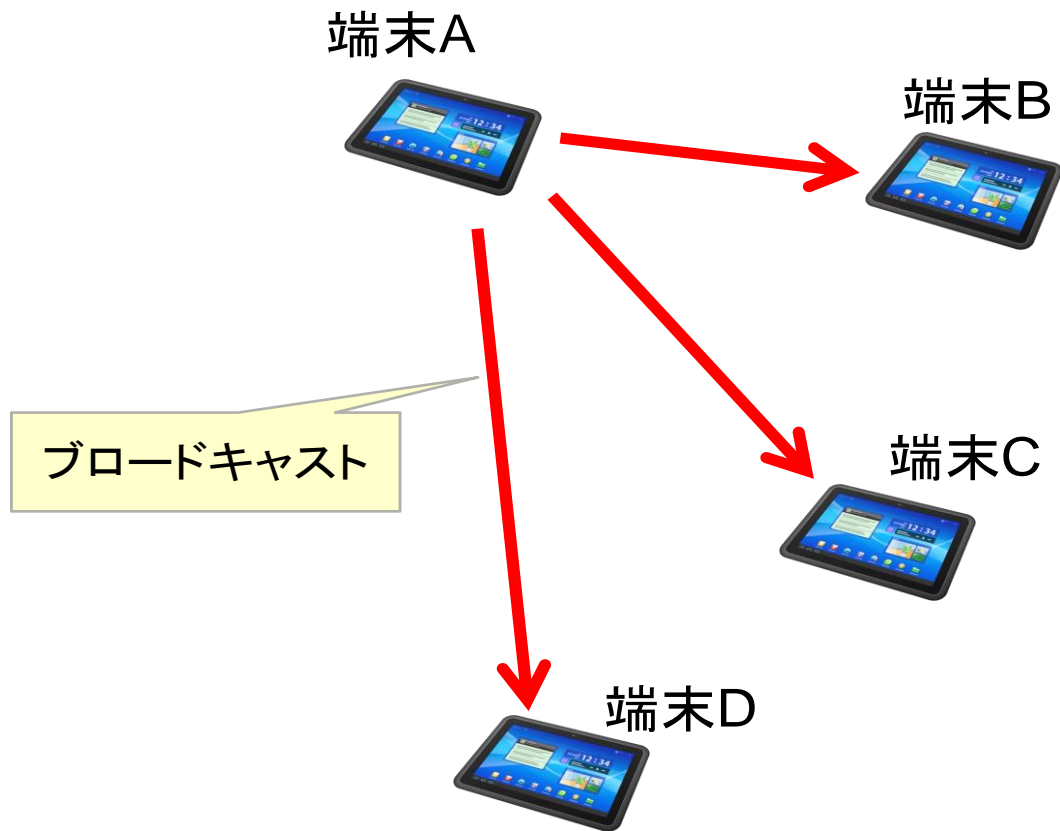


図 6-7 ブロードキャストによる端末・認証情報通知

6.3 狭域エリアセンシングの基盤技術の実証実験

ネットワーク接続性を確保しながらネットワークを効率的に活用し、安全性が確保されている提案方式である今回の認証方式が利便性の要件2の観点で実用的なレベルで認証されることを確認するために実験を行った。

6.3.1 実証実験の内容

今回の認証では、人の識別する能力によってグループ認証できることを説明した。この過程を分析すると、

- ①人物を特定する
- ②人数を数える

という二つの行動に分けることができる。

①では、目の前にいる人物が信頼関係のある参加候補者かどうかを判断する。②では、①で信頼関係ありと判断された参加候補者の数を数える。認証のタイミングで人数の自動認識ができるのであれば誰かが数字を声に出してしまうと、②だけの実行となり有効なグループ認証とはならない。このため、①を人間が実行し、②をタブレット端末上で人が操作する設計にする必要がある。信頼関係のある人を識別するには各種の簡便なインターフェースとの組み合わせの中で最も利便性の高い認証方式を考える必要がある。今回の実験は人物を特定する時間を評価する実験1と人物を数える時間を評価する実験2を実施した。

それぞれの実験詳細は次の6.3.2項の通りである。実際に作成した業務アプリの全体の流れとしては、「グループ形成→情報共有→終了」であるが、実験1と実験2では、実用的な時間内でグループ形成されることを検証するため、実証評価対象プロセスは「集合→グループ認証によるグループ形成」に限定している。

6.3.2 実証実験の詳細

実験 1 では、同じ研究室の学生被験者 9 名に自分以外の 8 名の写真をランダムに表示し、人物を特定するのにどの程度時間を要するかを測定した (図 6-8)。測定時間は表示ボタンを押してから名前を言い終わって次の写真の表示を実施するボタンを押すまでの時間である。また 9 名にそれぞれ 8 枚の写真を表示したため、合計 72 回の実験を実施した。実験に使用したタブレット端末は Android タブレット 3 台である。



図 6-8 人物識別実験実施状況(実験 1)

実験 2 では、プログラムで 5 人から 9 人までのランダムな人数の人間を画面に表示し、その人数を 3 種類の画面インターフェースで入力する実験を実施した。被験者 12 名が三つのインターフェースでそれぞれ 10 回ずつ試験を実施し合計 360 回の実験を実施した。インターフェースは簡便なインターフェース 3 種類である、フォーム入力、ピッカ入力、タップ入力による入力時間を計測する実験を実施した (図 6-9 (a), (b), (c))。自作評価ツールを導入した Android

タブレット端末を3台使用した。担当者の人数確認および人数入力にかかる時間を、画面が表示されてから入力終了するまでの時間の計測によって数値化した。

(1) フォーム入力方式

図 6-9(a)のようなフォームに数字を直接入力する方式である。本検証実験においてフォーム入力は人数を数えることが人の処理が負荷となっているのかどうかを調査する為に実施した。この際数える際のやりやすさから数を口に出して人数を数えてもよいとしている。

(2) ピッカ入力方式

次はピッカ (Picker) で選択する図 6-9 (b)のような方式である。ピッカ方式は人数をイメージとしてとらえる方式であり、指の動作と人数を数える行為が無意識化で連動しやすくフォーム入力よりは人の処理負荷が小さくなると想定される。フォーム入力のように数を口に出して数える必要がないため、より安全性の高い方式だと思われる。

(3) タップ入力方式

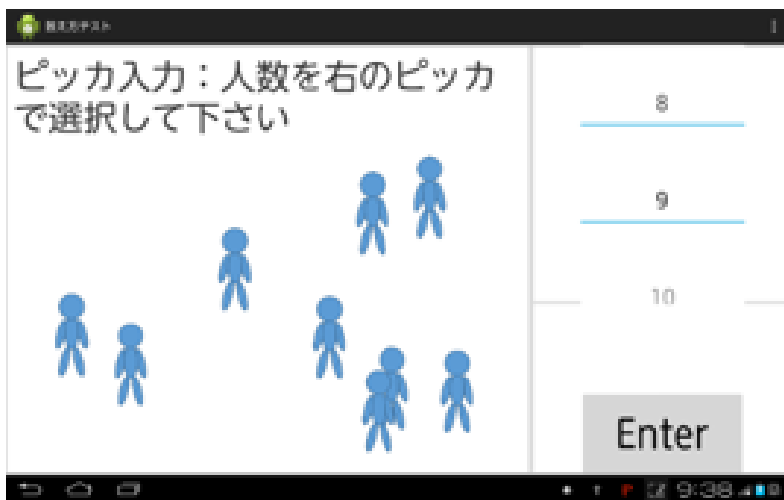
最後はタップして入力する図 6-9 (c)の方式である。タップ方式は人数を数える際に+を押す行為で実施する。数を覚える必要性がなく、かつ人を識別するだけなので数字を口に出す必要性がない安全性の高い方式である。人の処理負荷もフォーム入力よりは小さくなると考えられる。

フォーム



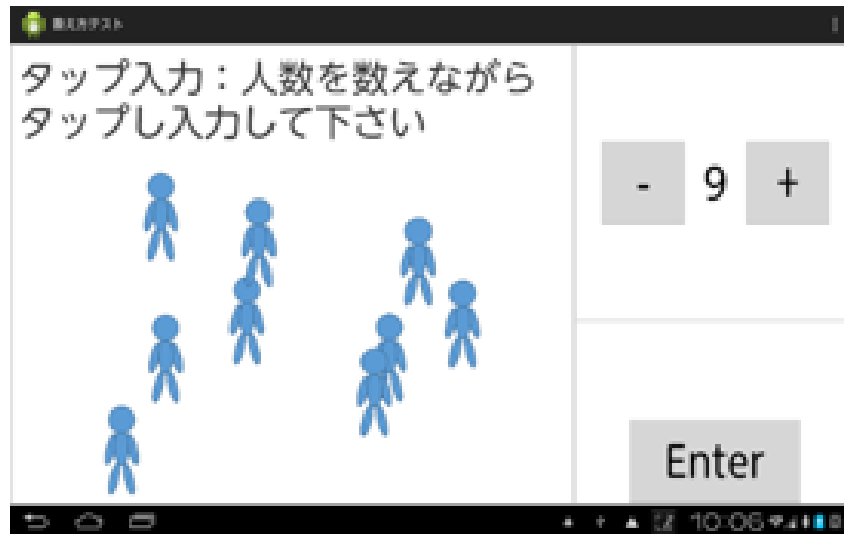
(a) フォーム入力画面(実験 2)

ピッカ



(b) ピッカ入力画面(実験 2)

タップ



(c) タップ入力画面(実験 2)

図 6-9 実験 2 の入力画面

6.3.3 実証実験の評価結果

評価は、入力時間計測を自作の評価ツールで実施した。実験 1 では、信頼関係を証明する方式として、画面上に表示される人を識別することにした。具体的には、画面上の人物の名前を口に出すことができる場合に信頼関係のある人という区別をつけた。被験者 9 名の実験結果が図 6-10 である。全体の 86% にあたる 62 回の識別速度が 1 人当たり 3,000ms 以下で 10 名でも 30 秒以内となっている。

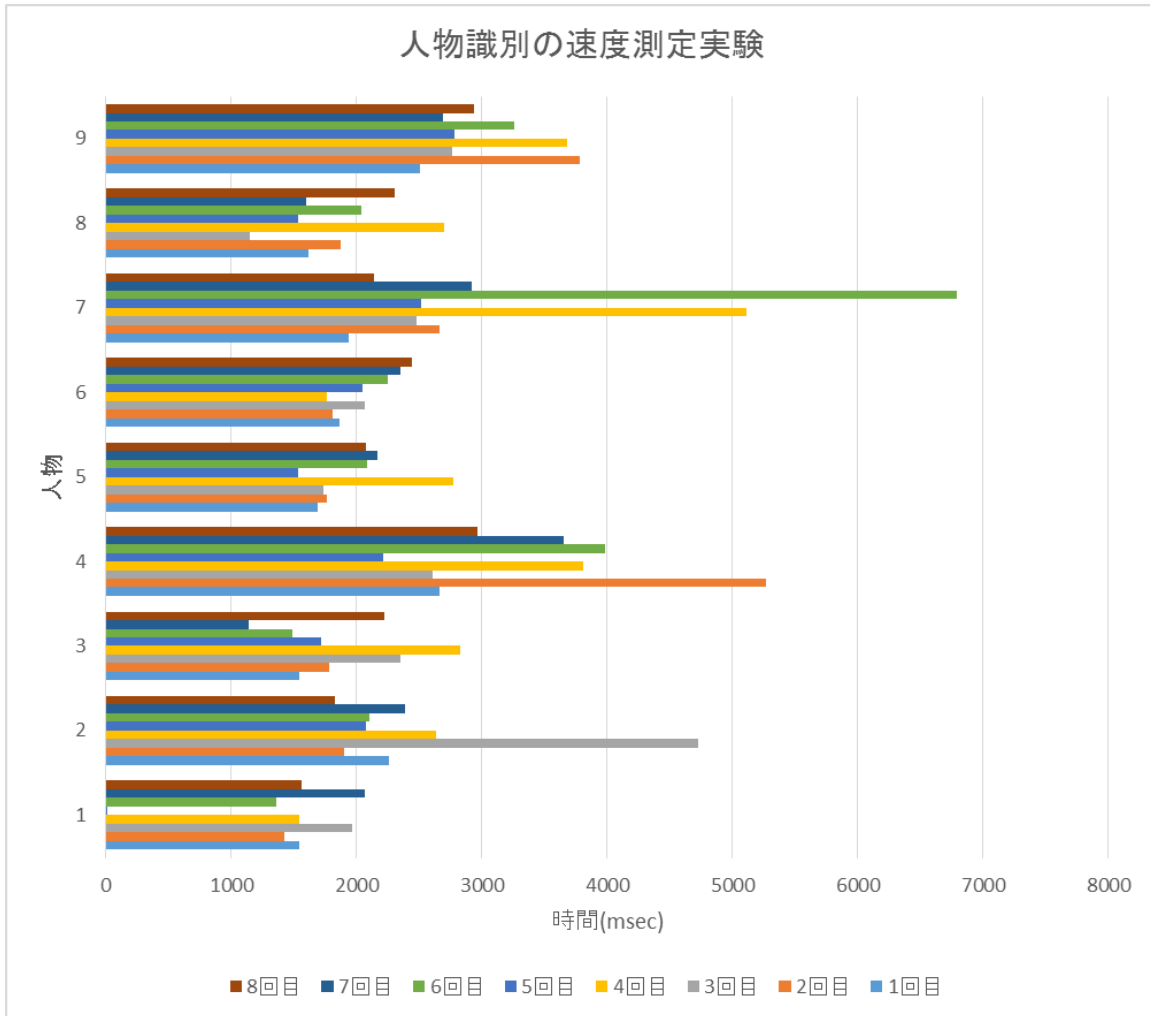
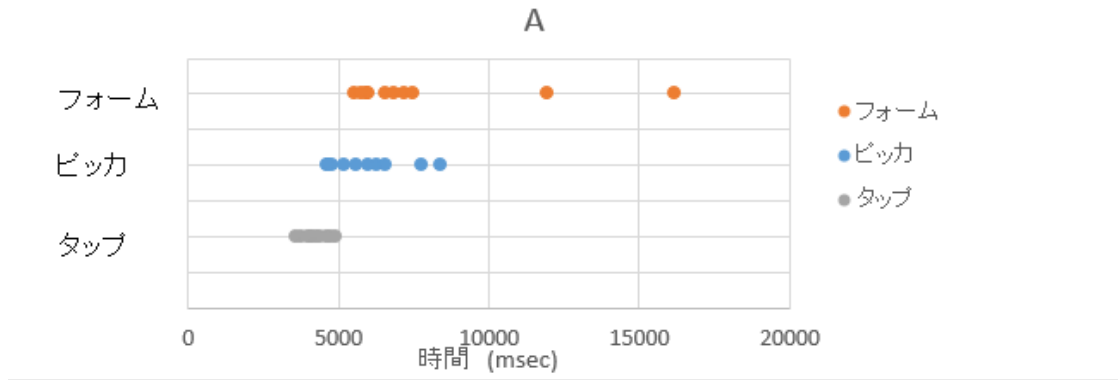
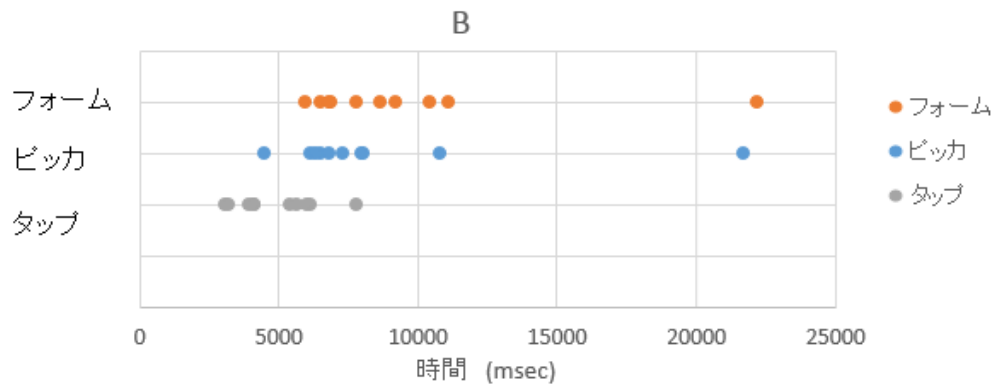


図 6-10 被験者が人物を特定するのに要した時間(実験 1)

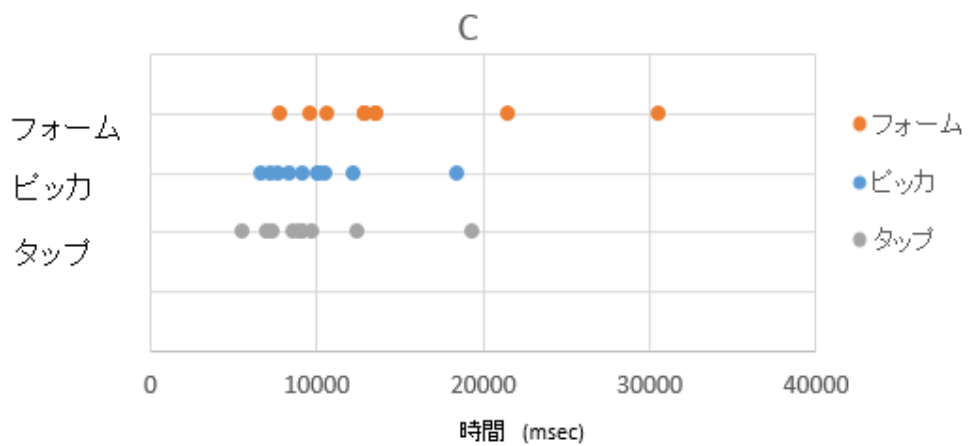
実験 2 の人数に関する質問に対して簡便な入力インターフェース 3 種類（フォーム入力、ピッカ入力、タップ入力）で回答をもとめ、入力画面表示時点から、人数回答までの時間を計測した。評価実験の被験者 12 名の実験結果のうちで無作為に抽出した 3 名の 3 インターフェース 10 回の実験結果が図 6-11 (d),(e),(f) である。この結果を見ると、被験者 A ではフォーム方式では 5,556ms から 16,177ms、ピッカ方式では 4,599ms から 8,386ms、タップ方式では 3,614ms から 4,738ms の範囲で入力している。多少の個人差は表れているが、ほぼ同等の傾向が見て取れる。最も短時間で処理が済む方式がタップ方式であり 2 番目は、ピッカ方式 3 番目は、フォーム入力方式である。



(d) 被験者 A の操作に要した時間(実験 2)



(e) 被験者 B の操作に要した時間(実験 2)



(f) 被験者 C の操作に要した時間(実験 2)

図 6-11 実験 2 の操作に要した時間

タップ入力は今回実験した3種類の入力方法の中で最も入力時間が短いことがわかった。人の処理負荷も最も小さいと考えられる。従って、本提案方式においてタップ入力方式が適していると考えられる。また操作時間はタップ入力ではすべてが20秒以内となっている。

実験1と実験2は、人物を特定する行動と人数を数える行動を別々に実験している。しかし実際のアプリケーションではこれを同時に実行可能である。また、実験1で信頼関係を証明する方法として、名前を口に出すという行動を採用した。実際のアプリケーションでは、名前を想起する必要はなく、顔を参加者として識別できればそれでよい。このため、実質的には実験1ほど識別に時間はかからず、実験2の測定値とほぼ同等の20秒以内の時間で認証が終了することとなり十分実用的である。

6.4 狭域エリア新しい個別対応情報共有の提案方式

6.1 節で紹介した狭域エリアにおける各種サービスは、情報の可視化によるグループ内メンバー間の意思疎通の補助を目的としていた。これは同じ能力をもったメンバー間では大変有効なサービスであると思われる。しかしながら、メンバー内で得意とする能力に差異がある場合には、その能力差による課題を助長する恐れもある。例えば、内向的な人がメンバー内にいる場合、上記サービスは人前での発言が得意なメンバーの能力をより高める事になり、内向的なメンバーの意見が見えなくなる恐れもある。そこで今回は ICT の特徴である「秘匿性」や「評価」などの感性情報入力を活用した「新しい個別対応情報共有方式」を検討した。

「秘匿性」とはネットワーク上に投稿されるコンテンツの提供元が分からない性質である。「評価」とは一般的に「いいね」ボタンと呼ばれているコンテンツに対する他人の評価機能である。発信元を秘匿する事で意見が出しやすくなり、他人の評価もしやすくなると考えられる。狭域エリアにおけるサービスでもこの特徴を利用する事で互いの意見を出しやすくなるのではないかと考えた。

この機能を利用する事で、発言力の弱い人からの意見は秘匿性を活用して引き出しやすくする事が可能になると思われる。自信を持って意見を出せるようになるにしたがって、レベル別に秘匿性を徐々に下げることによりプロフィールを公開していく事も可能である。秘匿性に加えて、他者からの評価に対する欲求を活用し、多様な意見を引き出す。他者が出した意見に対し、評価する手段を導入する。この評価についても、匿名性をレベル別に設定する事を可能とし、様々なメンバーの性格に合わせて対応する事ができる。

6.5 狭域エリアの新しい個別対応情報共有方式の実証実験

3番目の実験(実験3)として狭域エリアにおけるICT高度利用において、サーバレスでグループ形成を可能にするシステムを用いた実証実験を実施した。実験の目的は、これまでにはない人の識別する能力を活用したグループ認証の認証方式および通信方式が実用的であることの検証であり、「個別対応センシングシステム」がアプリケーションとして実用的であることの検証である。

6.5.1 実証実験システム構成

認証方式および通信方式の実用性を検証する実証実験のシステム構成概要図を下記図6-12に示す。無線LANのアクセスポイントには富士通SR-Mシリーズ、タブレット端末にはAndroid4.4搭載のArrowsを9台使用した。

グループ内の複数のタブレット端末は同一のサブネット内に存在するが、グループを管理したり、認証アカウントを管理したり、共有メモリを提供するサーバは存在しない。また、同サブネット内に複数のグループが形成される場合もある。分散共有メモリは、それぞれの端末内にある共有メモリを同期する事で構成する。

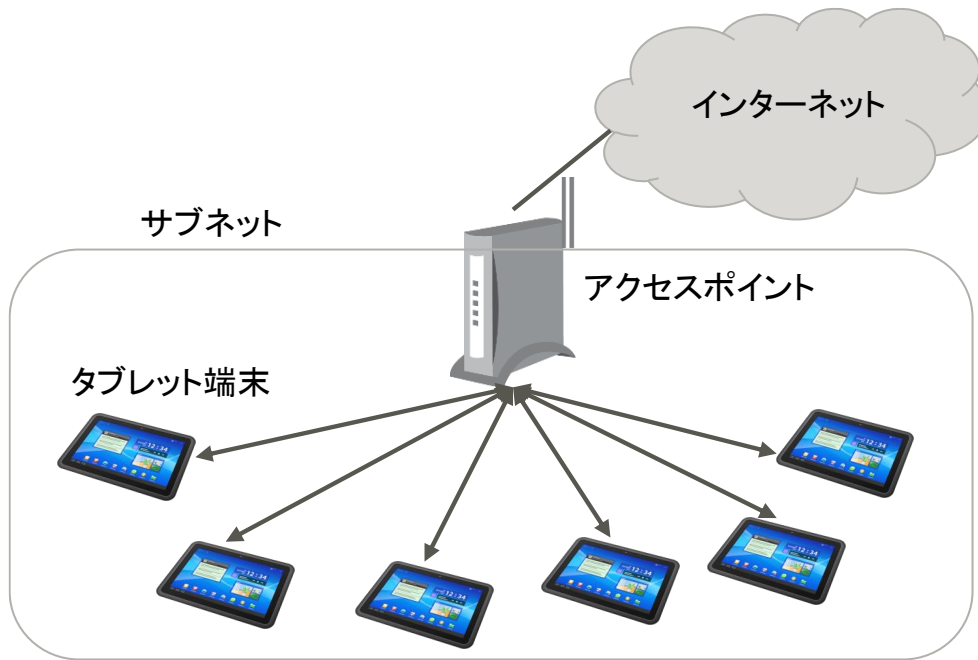


図 6-12 実験 3 のシステム構成概要図

6.5.2 「新しい個別対応情報共有方式」の模造紙アプリ実装

ICTの秘匿性と評価の特徴を利用する事で互いの意見を出しやすくする事を目的とした模造紙アプリを作成した。模造紙アプリは、模造紙と付箋紙をメタファーとしたテキスト・画像共有アプリケーションである。

端末ソフトウェアをモジュール構造で説明する。具体的には、端末発見モジュール、グループ管理モジュール、データ通信モジュール、通信管理モジュール、分散共有メモリモジュールの五つのモジュールが模造紙アプリを支え、アプリケーションと分散共有メモリ間のAPIは、共有化することで、ほかの用途のアプリケーションでも活用可能である(図 6-13)。参加時の認証インターフェースに関しては、アプリの認証画面の図 6-3 に示されるように、タップ入力方式を実装している。端末発見モジュールは、マルチキャストによるサブネット内の模造紙アプリ利用端末の発見や離脱の検知を行いグループ管理モジュールに通知する。グループ管理モジュールでは、端末発見モジュールで発見した他端末の端末情報(IPアドレス、MACアドレス)や認証情報(入力した人数、グループ名、アプリの起動時刻)の管理を行い、そのときのネットワーク接続状態を管理する。データ通信モジュールでは、同一グループ内に存在する他端末と通信路を確立する。通信管理モジュールは、グループ管理モジュールとデータ通信モジュールの統合管理を行い、端末発見モジュールで発見した他端末との通信路の対応付けの管理を行う。分散共有メモリモジュールでは、同期するデータの選別と、他端末へのデータ送受信によるデータ同期を実現している。アプリケーションは分散共有メモリにデータを書き込む事で同じグループに所属する端末に自動的に配信され同期が保たれる。

模造紙アプリでは一つのグループで一つの模造紙を共有し、模造紙の画面上に、付箋紙を貼り付けていく形となる。共有の最小単位は、個々の付箋紙である。共有された付箋紙は、他端末と同期され、他端末の模造紙上にも表示され

る。秘匿レベルが低い場合には、付箋紙を作成した人の名前が付箋紙上部に表示される。他端末との同期は、前記分散共有メモリを介して行われる。本模造紙アプリでは、自分の模造紙にしか表示されない「あなたのメモ」と、グループ内の他者にも見える「みんなのメモ」（図 6-14）がある。「あなたのメモ」は、「シェアボタン」により、共有されグループ内の他者にも見えるようになる。また、他者のメモに対して評価を与える「いいねボタン」がある。「いいねボタン」が押下されると、そのことがグループ内の他者にも見える。

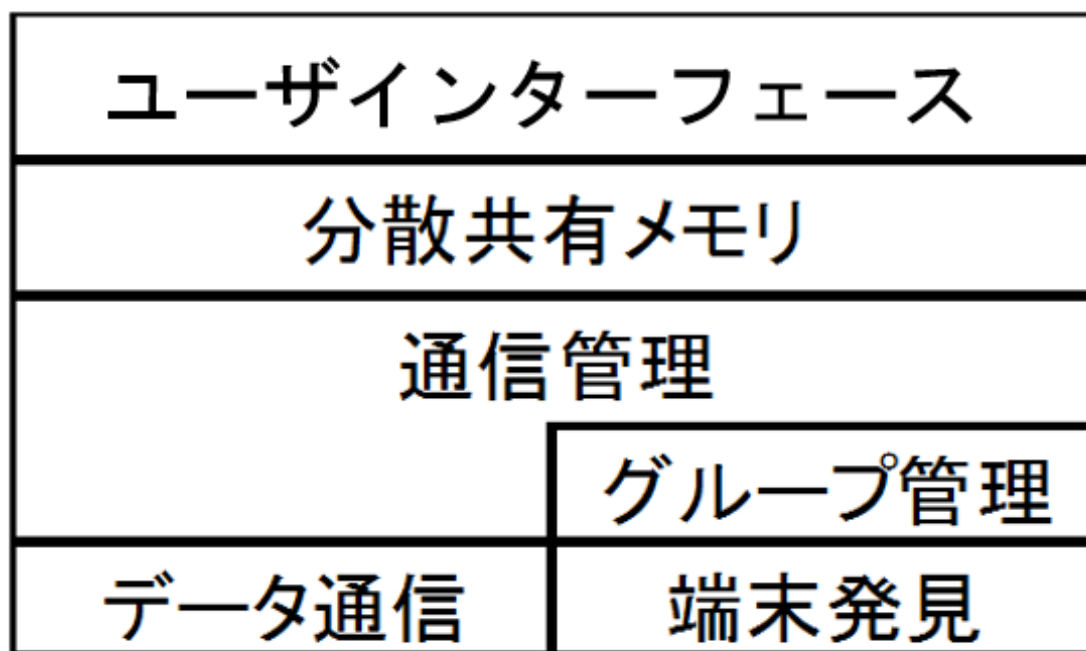


図 6-13 端末ソフトウェア・モジュール構成図

6.5.3 実証実験の詳細

この実験では、ワールドカフェ方式を活用して9人の参加者が三つのグループに分かれて模造紙アプリを使用した。ワールドカフェとは Juanita Brown (アニータ・ブラウン) 氏と David Isaacs (デイビッド・アイザックス) 氏によって1995年に開発・提唱された討論の一形式で、与えられたテーマについて各テーブルで数人が議論する。テーブルには移動しないテーブルホストと移動するゲストが存在する。テーブルホスト以外のゲストは他のテーブルへ移動し、そのホストから前の議論のサマリーを聞いてからさらに議論を行い、これを数回繰り返した後に、各テーブルホストが議論のまとめを行う方式である[98]。本実験ではグループ形成方式と分散共有メモリ及びアプリケーションを含むグループ認証方式が同一サブネット内で実用的に利用可能であることを検証する。総人数は9名一つのグループは3名で構成され、討論は3回実施した。

ワールドカフェが開始されると、アプリを全員が起動する。テーブルマスターは、自分のグループ名をメンバに周知しておく。メンバは各テーブルのテーブルマスターのグループ名を選択し、そのうえでゲストとしてふさわしいメンバの数をおのおのがタップ入力し、認証を実行する。それから、発言をアプリ上のメモに記入していき、討論を実施する。既定の時間が経過するとメンバ全員がアプリを終了する。この時の議論内容や経過時間などは端末にログとして残される。

この実験は無線 LAN ルータ 1 台に 9 名のメンバがアクセスする 10 人程度規模の実験である。複数グループが動的に形成される場面では従来方式は安全性と利便性を共存させることが難しかった。ワールドカフェ方式の会議は今回 3 名 1 組の会議であるが、メンバが交代していくことにより、あたかも参加者 9 名全員が話し合っているような効果が得られる新しい会議形式であり、提案方式の有効性を示しやすい実験であるため、この会議形式を実験対象として採用した。

6.5.4 実証実験の評価結果

テーブルホスト以外の被験者は本実証実験システムを初めて利用する初心者とした。ログより各セッションが計画通りの約 20 分で終了していることがわかった。メンバを 2 回入れ替え、合計 3 回のディスカッションを実施したが三つのテーブルの 3 回のディスカッションすべてで、全員が集合して 60 秒以内に最初の新規メモが作成されており、ディスカッションに十分な時間をとることが可能なレベルで認証が終了している。このことから、通信方式及び認証方式は十分に実用的であると評価できる。動的なグループ形成も通常タブレット端末なしで実施される通常の時間内で終了しており、端末を認識せずに人を識別してグループ形成する方法は狭域エリアの討論でも有効であることが分かる。また、その後もみんなのメモボタンの押下で情報共有が行われており、その意味でも分散共有メモリが有効に機能していることがわかる。これらより、本提案の認証方式や通信方式は実用的であると判断できる。



図 6-14 模造紙画面(みんなのメモ)

「新しい個別対応情報共有方式」を実現するアプリケーションである模造紙アプリの評価を実施する。全部で3回のディスカッションを行い、ディスカッションごとに一人を除いて参加者を入れ替えた（図 6-15）。議論のテーマとして「オリンピックにおける日本の施策」を挙げ、訪日外国人をおもてなしするIT施策を議論する事とした。各グループでディスカッションをするサブテーマとして

WG1: 観光で来日した外国人向けの施策

WG2: ビジネスで来日した外国人向けの施策

WG3: 留学生向けの施策

を定義して、各グループのテーブルホストに議論をお願いした。

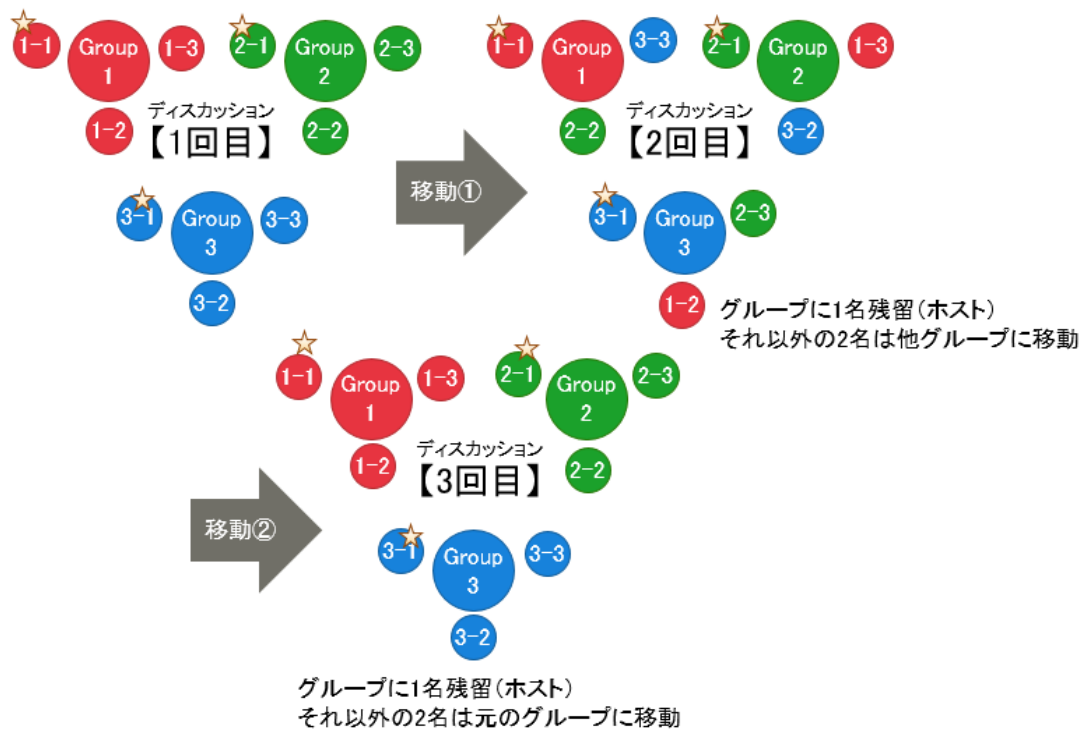


図 6-15 ディスカッションの方法

実験中に取得した操作ログの種類を表 6-2 に示す

表 6-2 ログの意味

Index	操作対象	操作内容
11	あなたのメモ	メモ新規追加
12	あなたのメモ	シェアボタン押下
21	みんなのメモ	メモ新規追加
23	みんなのメモ	いいねボタン押下

上記 4 状態を端末番号，時間と共に記録し，議論後に抽出して分析を行った。

記録されたログを図 6-16 に示す。参加者が自分の意見を「あなたのメモ」として新規に作成して，それを「みんなのメモ」として共有されるまでには遅延があることが分かった。意見を入力してから共有の場に意見に移すのに数分程度のタイムラグがあることがわかった。また，ログからグループ会議の時間や人の移動時間及び会議の回数などが可視化できる事がわかった。WG3 に着目すると 1 回目の会議では開始から 5 分程度で意見が出なくなっているのに対し 2 回目の会議で人が入れ替わると議論が長く行われている事がわかる。特に WG3 に関しては大変興味深いログが取得できた。3 回目の会議において，WG1 および WG3 は既にあなたのメモ，みんなのメモともに意見が出ていない。しかしながら WG2 のみ活発な議論が続いている。分析したところ，WG2 は議論の最初はじめて「いいね」ボタンが使われている事がわかった。特に，「いいね」評価をされた意見をシェアした人が追加で意見をシェアしていることは興味深い。狭域エリアにおけるアプリケーションにおいて，ICT で実現できるメリットの一つと言える。

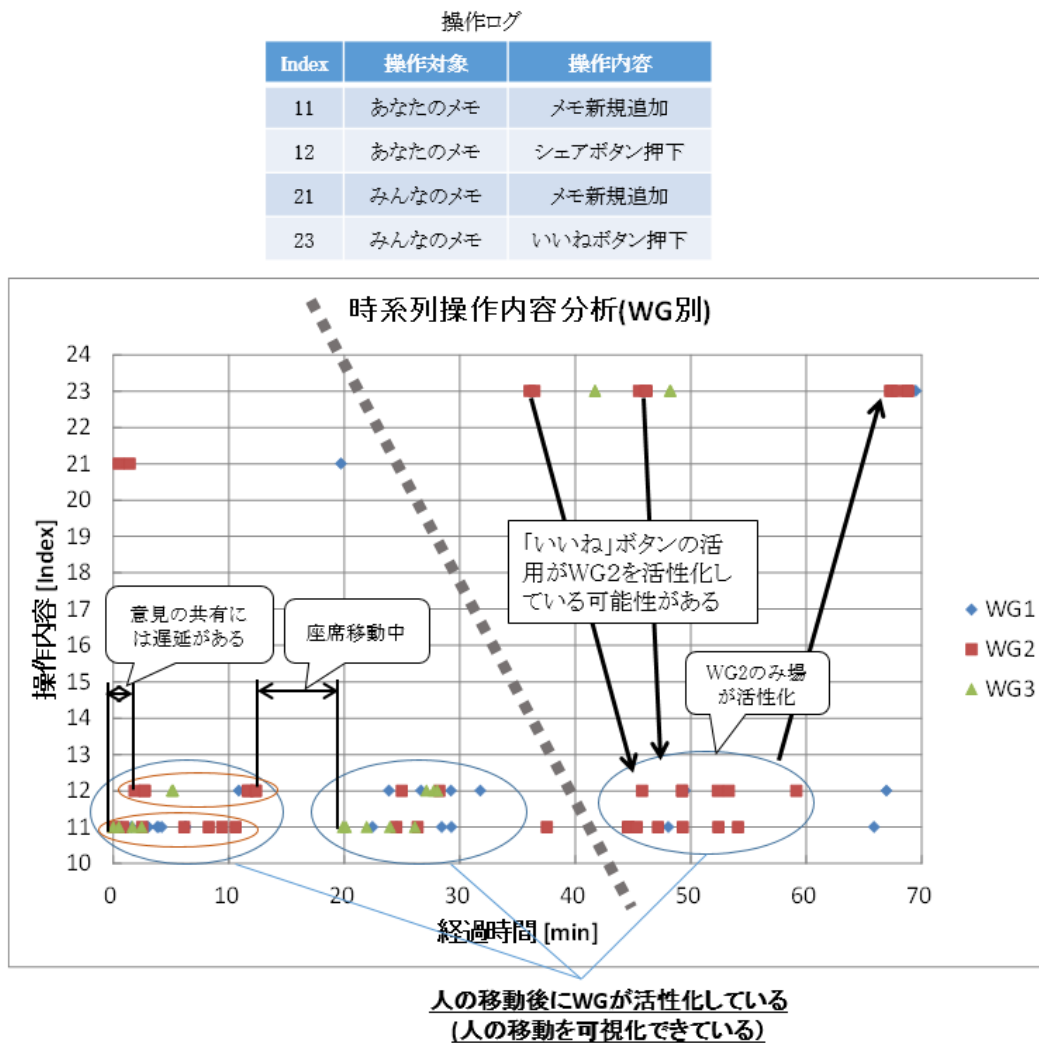


図 6-16 グループディスカッションログ分析図

6.6 狭域エリアセンシングの基盤技術と新しい個別対応情報共有方式の実証実験に関する考察

6.3節の実証実験により、狭域エリアセンシングの基盤技術の有効性を検証した。実験結果により、人物を識別し、人数を数える認証方式は適切な入力方式を選択することにより、十分に実用的な時間での認証が可能であることが示された。また6.5節の実証実験により、従来方式では不可能であったネットワーク接続性、ネットワーク効率性、安全性および利便性をすべて満たす認証方式を実装した会議アプリケーションを利用して実際の会議を行うことにより共有メモリ方式を採用した通信方式を含む基盤技術が実用的な使い勝手を提供することが示された。

また、秘匿性と評価などの感性情報入力により、「狭域エリアの新しい個別対応情報共有方式」を提案し、会議の進捗状況の捕捉が個人別にいかに可能となるかを検証した。6.5節の実証実験により示された時系列の会議中の操作内容を分析することにより、アプリケーションの秘匿性が十分に活用され、これまで顕在化することが不可能であった個人の自信のなさをあきらかにすることができた。これを発展させることにより、個別の習熟度を理解することにつながり、教育計画の立案に有効な情報を蓄積していくことが可能となると考える。また人の承認欲求に働きかける評価機能の実装により会議が活性化することが確認でき、このことから将来会議に対する積極的な働きかけに対して人を評価していくことが可能となることを示している。このことを応用してこれまで評価の難しかった個人の日々の活動ログをもとにした客観的な評価が可能となる。

現時点では、狭域エリアセンシングは認識されたばかりであり、技術的な発展が必要であるが、スマートデバイス高度利用の急激な進展により急速な立ちあがりを見せ、ビッグデータとなる可能性が高いと考える。

青山学院大学の宇佐美らによる研究[99]で、スマートフォンのマイク入力からの音声をテキスト変換して発言の頻度と遷移に基づくミーティングの活発度を表す指標を定義し、ミーティングの特徴を定量的に評価するシステムの設計と実装を実施している。今回の狭域エリアの新しい個別対応情報共有方式は、音声入力を必要とせず、会議の進捗状況を個人の発信状況を含めて捕捉でき、個人個人の会議内容に関する習熟度理解やそれに基づく教育計画の立案に有用な人事情報に進展させることができること等が可能であるという特徴を持っている。

また、名古屋大学の土田らによる研究[100]は、テキスト情報や映像・音声情報といった議論活動の内容を構造化されたマルチメディア議事録として半自動的に記録し、そこから人間にとって再利用可能な知識を抽出するディスカッションマイニング[101]と呼ばれる技術をテーマとしている。しかし、個別対応はしていないために、個人に対するフィードバック可能なデータは取得されていない。つまり個人に対するインセンティブには結びつかない。

6.7 狭域エリアセンシングの基盤技術と新しい個別対応情報共有方式の提案のまとめ

本章では ICT を高度利用する新しい領域として「狭域エリア」におけるセンシング基盤技術を提案した。狭域エリアとは人同士がお互いに識別できるくらい近距離で存在するようなエリアを示し、その中での ICT 利用を「狭域エリアにおける ICT 高度利用」として新たな利用領域における技術を通信技術と認証技術に分けて検討を行った。狭域エリアではネットワーク接続性、ネットワーク効率性、安全性、利便性をすべて満たす基盤技術の方式提案が求められている。

通信技術に関しては、サーバレスを実現するために各端末にメモリを分散させて同期する方式を提案した。ただし今回の提案方式はブロードキャストが届く範囲での狭域エリアを対象としており、同じ場所に複数のサブネットの異なる無線 LAN アクセスポイントが存在する場合には対応していない。認証技術に関しては、狭域エリア特有の技術として、参加者の識別は人が対応し情報の妥当性の検証は端末が行うグループ認証方式を提案した。理論上でネットワーク接続性、ネットワーク効率性、安全性に関しては当方式が条件を満たしていることが示された。そこで基盤技術である通信方式と認証方式に関して実証実験を実施し利便性を確認した。

個別対応情報共有方式では、ICT ならではの「秘匿性」と「評価」機能を取り入れた新しい方式が実用レベルであり、また本方式は、会議の進捗状況を個人の発信状況を含めて捕捉できることが示された。今後一人一人の会議内容に関する習熟度理解やそれに基づく教育計画の立案に有用な人事情報に進展させることができると考えられる。

この実証実験により、「狭域エリアセンシングの基盤技術と新しい個別対応情報共有方式」の実用性に関する展望が開けた。今後は、具体的なアプリケーションにおいて、よりその付加価値提供によるメリットを評価できる検証を進める予定である。

第7章 おわりに

本研究で得られた成果を総括し、今後の展望について述べる。

IoT の進展とビッグデータへの期待および AI の進化の同時進行により、大量データのセンシングは非常に重要となっている。しかし大量データのセンシングにはインフラ面（特にセンサ）で大きく四つの課題がある。(1)センサの小型化と低価格下 (2)センサの電池の長寿命化 (3)センサの機種間誤差 (4)センサのセキュリティである。このいずれも現在普及の進んできたスマートデバイスで情報収集を実施する参加型センシングで解決が可能である。

ただし、データ自体の信頼性をあげ、ビッグデータにつながる大規模なデータの収集・蓄積につなげるためには、参加者への強い動機付けを与えるためのインセンティブが必要と考えた。そこで、本研究では個人個人の感性情報に注目してユーザ自身による入力を取り入れる方式を提案した。

参加型センシングの取り組みが既に開始されている振動や温度などを測定する広域エリアセンシングの場合には、個人のスマートデバイスによる感性情報の入力手段を追加することにより、集められた情報が個人にもメリットのある形でフィードバック可能な方式を提案した。本提案はスマートデバイスを使用した参加型センシングの活用が進んでいない車いすユーザを対象とした、広域エリアでの感性情報入力を含む快適性可視化方式である。実際の実験とシミュレーションを通じてユーザ毎に異なる快適度を数値でとらえ、その情報をもとに悪路情報として蓄積することで、個人個人の閾値に応じた悪路の可視化が可能であることを示すことができた。これは、「個別対応に有効な感性情報入力センシング方式」である。これにより、各個人が自分でその道を通過していなくても、他人の情報を参考にすることで、自分にとっての悪路を避けるための情報を得ることができる。この結果、参加者のセンシング活動への参画の強いインセンティブとなる。

一方これまで ICT 高度利用の進んでこなかった狭域エリアセンシング分野では、会議室のように設備の整っていない狭域エリアでの会議の発言をデータとしてリアルタイムで蓄積する技術が確立していなかった。理由はこれまでの狭域エリアでの会議では、事前の手続きによる認証を経なければ、会議でスマートフォンデバイスを活用した情報共有ができなかった。このために利便性が低く ICT 高度利用が進んでいなかったことがある。そこで本研究ではまず、狭域エリアの会議で ICT 高度利用を可能とする安全性が高く、利便性の高いグルーピングのための基盤技術を提案した。具体的には人の識別能力を活用し、エッジコンピューティングの方式との組み合わせで、なりすましができずかつ利便性の高いグルーピングシステムを実現した。このシステム基盤上で、会議における生の発言情報をデータとして収集・蓄積することが可能となった。

さらに狭域エリアでの感性情報入力方式として匿名性や意見、共感情報などの感性情報を入力することが可能な情報共有方式を提案し、各個人が自分の力量に応じて情報の匿名性を確保し、自分の感性情報を他人の意見に加味することを可能とした。このことにより会議の活性化に寄与し、個人の感性の可視化を通じて「個別対応に有効な感性情報入力センシング方式」を実現した。将来は個人の感性情報把握や評価対象の人事情報としての活用を図り、参加に向けた強いインセンティブとすることが可能となることが予想される。狭域エリアセンシングの進展に伴い、現在はビッグデータではない狭域エリアでの発言ログ情報のビッグデータ化が進展する可能性が高いと考える。

今後の展望としては次のようなことが考えられる。まず広域エリアセンシング分野の 1 例である車いすでは、個別の車いすユーザの快適度を、他人の通過データから予測するために、車いすの個別ユーザの速度、ユーザの体重、個人の病気の部位、車いすのタイプなどの情報を組み合わせて特徴量をどうとらえるか検討する必要がある。車いすの速度や、ユーザの体重は、振動の大きさに相関関係がある。また、体の部位には固有の周波数があるため、振動周波数を予測して、個別に警告する必要がある。

また、狭域エリアセンシングの 1 例である情報共有システムでは、会議での公式発言のログが蓄積されていくと、企業では組織内の意思決定過程の詳細を明らかにすることが可能となり、監査に有効な活用が進む。この際に当該方式を通じない重要発言は公式なもの認めないようなルールの適用が必要となる。このような方式を採用するシステムの信頼性が課題である。また、リアルタイムに組織内で議論されている内容が可視化・分析できるようになり、組織内の個別のリスク管理に役立つ。この場合、大規模化に耐えうるアーキテクチャの設計が課題である。あるいは、個別の秘匿レベルの使用頻度により、個人の組織での果たしている役割が分析可能となり、人事考査や育成方針の決定に役立つことになる。こうした実証実験に取り組む必要がある。

謝辞

本論文は筆者が公立ほこだて未来大学大学院システム情報科学研究科システム情報科学専攻博士後期課程に在学中の研究成果をまとめたものです。本論文をまとめるにあたりまして多くの皆様にご指導をいただき、支えられてまいりました。

論文を審査してくださいました、公立ほこだて未来大学システム情報科学部教授 藤野 雄一先生、同教授 白石陽先生、同教授 稲村 浩先生、同特任教授 高橋 修先生、千葉工業大学 先進工学部 知能メディア工学科 教授 森 信一郎先生 に感謝を申し上げます。藤野先生には研究内容を論文にまとめるにあたりまして貴重な知見をいただきました。藤野先生に頂戴いたしました知見により論文にまとめ上げることができました。ここに心からの感謝を申し上げます。白石先生からは、本稿の研究分野に関します知見をいただきました。深く感謝申し上げます。稲村先生からは数々の貴重なコメントを頂戴いたしましたことに心より感謝申し上げます。

システム情報科学部特任教授 高橋修先生には、研究を始めるきっかけと本研究の全般に渡りまして多大なるご指導・ご助言・ご協力を賜りました。論文としてまとめ上げるにあたり多くの助言を頂戴いたしましたことに深く御礼申し上げます。

システム情報科学部准教授 中村 嘉隆先生にも多くのご指導をいただきました。学会に提出直前に時間のない中でレビューいただきまして誠に感謝しております。

千葉工業大学 先進工学部 知能メディア工学科 教授 森 信一郎先生には、研究に取り組むにあたり多大な助言・ご指導・アドバイスを頂戴いたしました。ここに心からの感謝を申し上げます。

株式会社 IDY 代表取締役 本田 和明博士 には公立ほこだて未来大学をご紹介いただき、進まない論文の進捗に多くの励ましと応援をいただき精神面の助力をいただきました。ここに深く感謝申し上げます。

株式会社富士通研究所の社員の方々および公立ほこだて未来大学の学生の皆様には研究の実験にあたりまして、多大なご協力をいただきまして、深く感謝申し上げます。

最後に家族には大学院在学中に多方面に助力をいただきました。ここにあらためて深謝の意を表します。

参考文献

- [1] 平成 28 年情報通信白書, 総務省 (2016/07)
- [2] Gartner :“Internet of Things” – IT Glossary (online), available from <<http://www.gartner.com/it-glossary/internet-of-things/>> (accessed 2017-02-17)
- [3] Bill Morelli, Director IHS Technology, “ Internet of Things Report – 2014”, available from <<https://technology.ihs.com/api/binary/511702?attachment=true>> (2014/12) (accessed 2017-02-17)
- [4] James Manyika, Michael Chui, Brad Brown, Jacques Bughin, Richard Dobbs Charles, Roxburgh Angela, Hung Byers, “Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity” McKinsey Global Institute (2011/06)
- [5] John Gantz , David Reinsel “Extractig Value from Chaos” IDC (2011/06)
- [6] 太田一樹, 岩崎正剛, 猿田浩輔, 下垣徹, 藤井達郎, 山下真一, 濱野賢一郎, “Hadoop 徹底入門 第 2 版 オープンソース分散処理環境の構築”, 翔泳社 (2013/09)
- [7] 佐々木達也, “Hadoop ファーストガイド”, 秀和システム (2012/10)
- [8] Sanjay Ghemawat, Howard Gobioff, and Shun-Tak Leung, “GFS (Google File System)”, available from <<https://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/ja//archive/gfs-sosp2003.pdf>> (accessed 2017-02-17)
- [9] Mike Burrows “The Chubby lock service for loosely-coupled distributed systems” , available from <<https://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/ja//archive/chubby-osdi06.pdf>> (accessed 2017-02-17)
- [10] Jeffrey Dean and Sanjay Ghemawat Mapreducee: “Simplified Data Processing on Large Clusters” , available from <<https://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/ja//archive/mapreduce-osdi04.pdf>>(accessed 2017-02-17)
- [11] Fay Chang, Jeffrey Dean, Sanjay Ghemawat, Wilson C. Hsieh, Deborah A. Wallach Mike Burrows, Tushar Chandra, Andrew Fikes, Robert E. Gruber “BigTablee: A Distributed Storage System for Structured Data” , available from <<https://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/ja//archive/bigtable-osdi06.pdf>> (accessed 2017-02-17)
- [12] Rob Pike, Sean Dorward, Robert Griesemer, Sean Quinlan “Interpreting the Data:Parallel Analysis with Sawzall” , available from <<https://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/ja//archive/sawzall-sciprog.pdf>> (accessed 2017-02-17)

- [13] 本橋信也, 河野達也, 鶴見利章 “NOSQL の基本知識 (ビッグデータを生かすデータベース技術)”, リックテレコム (2012/04)
- [14] 佐々木達也, “NoSQL データベースファーストガイド”, 秀和システム (2011/05)
- [15] IDC Digital Universe Study: “Big Data, Bigger Digital Shadows and Biggest Growth in the Far East” IDC. (2012/12)
- [16] “「世界のビッグデータのうち、分析に利用されているデータは 0.5%」 EMC が最新の調査結果を発表 “, EZ ニュース (オンライン) , 入手先 <https://enterprisezine.jp/article/detail/4431> (2012/12) (参照 2017-02-17)
- [17] 池崎雅夫, ”新たな IT 産業の成長と活性化に向けた調査結果と展望” 一般社団法人電子情報技術産業協会 (オンライン) , 入手先 http://home.jeita.or.jp/upload_file/20111121100136_cNnJyZPhQL.pdf (2011/10) (参照 2017-02-17)
- [18] 成 善政 “ビッグデータ (Big Data) の利活用による戦略的企業経営管理” —その概念, 現状, そして活用の経済的分析 pp51-72 松本大学研究紀要 第 13 号 (2015/01)
- [19] Thomas H. Davenport. “big data@work: Dispelling the Myths, Uncovering the Opportunities”, Harvard Business School Publishing Corporation (2014/02)
- [20] 平成 26 年度情報通信白書, 総務省 (2014/07)
- [21] “P2P ファイル共有から Web サービスへ シフト傾向にあるトラフィック”, IJ (オンライン), 入手先 http://www.ij.ad.jp/company/development/report/iir/pdf/iir_vol08_report.pdf (参照 2017-02-17)
- [22] “増大する一般ユーザのトラフィック”, IJ (オンライン) , 入手先 http://www.ij.ad.jp/company/development/report/iir/pdf/iir_vol04_traffic.pdf (参照 2017-02-17)
- [23] G.Maier, A.Feldmann, V.Paxson, and M. Allman. “On Dominant Characteristics of Residential Broadband Internet Traffic.”, IMC2009. Chicago, IL, available from <http://www.icir.org/gregor/papers/imc09-residential-traffic.pdf> (2009/11) (accessed 2017-02-17)
- [24] C.Labovitz, D.McPherson, and S.Iekel-Johnson. “2009 Internet Observatory Report”, NANOG47. Dearborn, MI. , available from https://www.nanog.org/meetings/nanog47/presentations/Monday/Labovitz_ObserveReport_N47_Mon.pdf (2009/10) (accessed 2017-02-17)
- [25] M.Satyanarayanan, P. Bahl, R. Caceres, and N.Davies : “The case for VM-based Cloudlets in Mobile Computing,”, IEEE Pervasive Computing, Vol 8, No 4, pp.14-23 (2009/12)

- [26] “高レスポンスやビッグデータ処理が要求される新たなアプリケーションの開拓を推進する「エッジコンピューティング構想」を策定”，NTT（オンライン），入手先 <<http://www.ntt.co.jp/news2014/1401/140123a.html>>(参照 2017-02-17)
- [27] “IoT 時代を拓くエッジコンピューティングの研究開発”，NTT 技術ジャーナル（オンライン），入手先 <<http://www.ntt.co.jp/journal/1508/>>(参照 2017-02-17)
- [28] M. Abdelshkour, “IoT, from Cloud to Fog Computing.”, available from <<http://blogs.cisco.com/perspectives/iot-from-cloud-to-fog-computing>> (2016/06) (accessed 2017-02-17)
- [29] Karolj Skala , Davor Davidovic , Enis Afgan, Ivan Sovic, Zorislav Sojat “Scalable Distributed Computing Hierarchy: Cloud, Fog and Dew Computing” , RonPub, Open Journal of Cloud Computing (OJCC) Volume-2, Issue-1,2015 , available from <https://www.ronpub.com/publications/OJCC_2015v2i1n03_Skala.pdf> (2015) (accessed 2017-02-17)
- [30] “Mobile-Edge Computing “, ESTI Portal, available from <<http://www.etsi.org/news-events/news/1078-2016-04-etsi-mobile-edge-computing-publishes-foundation-specifications>>(accessed 2017-02-17)
- [31] “iPad は ANA 客室乗務員の業務をどう変えたか 世界初の大規模導入から半年 — 雲上の iPad 活用術” , 入手先 <<http://www.aviationwire.jp/archives/9626>>(参照 2017-02-17)
- [32] “ANA アニュアルレポート 2013” , pp.65 , 入手先 <http://www.anahd.co.jp/investors/data/annual/pdf/13/13_00.pdf> (2013) (参照 2017-02-17)
- [33] Burke, J. A., Estrin, D., Hansen, M., Parker, A., Ramanathan, N., Reddy, S., Srivastava, M. B. “Participatory sensing,” First Workshop on World-Sensor-Web (WSW’06): Mobile Device Centric Sensory Networks and Applications In SenSys. (2006)
- [34] Tomohiro Nomura, and Yoh Shiraishi, “A Method for Estimating Road Surface Conditions with a Smartphone”, International Journal of Informatics Society, VOL.7, NO.1, pp.29-36 (2015)
- [35] THE COPENHAGEN WHEEL, available from <<http://senseable.mit.edu/copenhagenwheel/index.html>>(accessed 2017-02-17)
- [36] 神村 史, 木村 友哉, 渡辺 尚, ”スマートフォン搭載センサを使用した二輪車車両挙動把握システムの提案”, マルチメディア・分散・協調とモバイル DICOM2012 シンポジウム, pp. 1352-1360 (2012/07)
- [37] Xiaoshan Sun, Shaohan Hu, Lu Su, Tarek F. Abdelzaher, Pan Hui, Wei Zheng, Hengchang Liu, and John Stankovic, “Participatory Sensing Meets Opportunistic Sharing: Automatic Phone-to-Phone Communication in Vehicles” IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING, pp. 2550-2563 (2015)

- [38] 青木 俊介, 劉 廣大, 清水 和人, 岩井 将行, 瀬崎 薫, “ユーザ参加型環境センシングにおける効率的なシステム運用モデルの構築とユーザ分析”, マルチメディア・分散・協調とモバイル DICOMO2013 シンポジウム, pp.2008-2013 (2013/07)
- [39] 瀬崎 薫, “ユーザ参加型都市環境センシングとその課題”, マルチメディア・分散・協調とモバイル DICOMO2013 シンポジウム, pp.238-239 (2013/07)
- [40] N.Maisonneuve, M.Stevens, B.Ochab, “Participatory noise pollution monitoring using mobile phones.” in Journal of Information Polity - Government 2.0: Making Connections between citizens, data and government, Volume.15, Issue.1, ACM, pp. 51-71 (2010/04)
- [41] S. B. Eisenman, E. Miluzzo, N.D.Lane, R.A.Peterson, G-S. Ahn, A.T.Campbell. “The bikenet mobile sensing system for cyclist experience mapping”, in Proc. of Sensys '07 - the 5th international conference on Embedded networked sensor system, ACM, pp. 87-101 (2007/11)
- [42] Campbell, A. T., Eisenman, S. B., Lane, N. D., Miluzzo, E., Peterson, R. A. “People-centric urban sensing”, in Proc. of WICON'06, the 2nd annual international workshop on Wireless internet. ACM (2006/08)
- [43] Mobile Millennium, available from <<http://traffic.berkeley.edu/>>(accessed 2017-02-17)
- [44] 渡辺 博己, 筒井 諒太, 棚橋 秀樹, “観光客の行動計測技術と行動モデルに基づいた情報提供手法の研究開発 (第1報)”, 岐阜県情報技術研究所研究報告, 第13号 (2011)
- [45] 森本 哲郎, 辻本 悠祐, 白浜 勝太, 上善 恒雄, “Wi-Fi パケットセンサを用いた人流解析と可視化”, 情報処理学会データベースシステム研究会, DEIM Forum 2015 F8-3. (2015)
- [46] A.T. Campbell, S.B. Eisenman, N.D. Lane, E. Miluzzo, and R.A. Peterson, “People-centric urban sensing”, WICON '06, ACM, Proc. of the-2nd annual international workshop on Wireless internet, pp2-5.(2006)
- [47] 阪田史郎, 戸辺義人, 南 正輝, 鈴木 誠, 石原 進, 若宮直紀, 鈴木 敬, 西山裕之, 福永 茂, 河野隆二, センサネットワーク 電子通信情報学会知識ベース (オンライン), 入手先 <http://www.ieice-hbkb.org/files/04/04gun_05hen_03.pdf> (2010/06) (参照 2017-02-17)
- [48] S. Kim, S. Pakzad, D. Culler, J. Demmel, G. Fenves, S. Glaser, and M. Turon, “Health Monitoring of Civil Infrastructures Using Wireless Sensor Networks”, Proc. of the 6th International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN'07), Cambridge, Massachusetts (2006/10)

- [49] J. Hill, R. Szewczyk, A. Woo, S. Hollar, D. Culler and K. Pister, “System Architecture Directions for Networked Sensors”, Proc. of the 9th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS’00) Vol.28 Issue.5, Boston, Massachusetts, pp. 93-104 (2000/10)
- [50] 猿渡 俊介, 水野 浩太郎, 鈴木 誠, 森川 博之, “無線センサノード向けハードリアルタイムオペレーティングシステムの設計,” 情報処学会研究報告, ユビキタスコンピューティングシステム研究会 UBI-13-29, pp. 203-210 (2007/02)
- [51] Zigbee white paper – Zigbee Alliance, available from <<http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/applicationstandards/zigbee-building-automation/>>(accessed 2017-02-17)
- [52] B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan, and R. Morris, “Span: An energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks,” in proc. of ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom’01), pp. 85-96 (2001).
- [53] X. Wang, G. Xing, Y. Zhang, C. Lu, R. Pless, and C. Gill, “Integrated coverage and connectivity configuration in wireless sensor networks,” ACM Transactions on Sensor Networks, vol.1, no.1, pp. 36-72,(2005)
- [54] “IoT (Internet of Things) の国内市場規模調査”, 株式会社 MM 総研(オンライン), 入手先 <<https://www.m2ri.jp/news/detail.html?id=33>> (2016/01) (参照 2017-02-17)
- [55] ”ビッグデータ、IoT 関連ソリューション分野での需要が期待される センサーの世界市場を調査“, 株式会社 富士キメラ総研 (オンライン), (2015/08)入手先 <http://www.group.fuji-keizai.co.jp/press/pdf/150828_15080.pdf> (2015/08) (参照 2017-02-17)
- [56] ” 3000 円台の低価格で注目の放射線測定器、開発は個人ボランティア、専門家・企業が「儲け抜き」で協力 “, 東洋経済オンライン (オンライン), (2012/02), 入手先 <<http://toyokeizai.net/articles/-/8699>> (参照 2017-02-17)
- [57] ” 測ってガイガー “, 入手先 <<http://hakatte.jp/>>(参照 2017-02-17)
- [58] ” ウェザーニュース “. 入手先 <<http://weathernews.jp/>>(参照 2017-02-17)
- [59] ” 我が家の気象観測所 Netatmo ウェザーステーション “, 日経トレンドイネット (オンライン), 入手先 <<http://trendy.nikkeibp.co.jp/article/pickup/20140313/1055927/?P=2&rt=ocnt>>(参照 2017-02-17)
- [60] Netatmo (ネタトモ社) ウェザーマップ(オンライン), 入手先 <<https://weathermap.netatmo.com/>>(参照 2017-02-17)
- [61] Netatmo Andoriod アプリ Netatmo Weather, 入手先 <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.netatmo.netatmo&hl=ja>>(参照 2017-02-17)

- [62] “NetBIOS Over TCP/IP MICROSOFT Technet”, available from
<<https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc940063.aspx>>(accessed 2017-02-17)
- [63] “NetBEUI definition” –TechTarget, available from
<<http://searchwindowserver.techtarget.com/definition/NetBEUI-NetBIOS-Extended-User-Interface>>(accessed 2017-02-17)
- [64] S. Reddy, D. Estrin, M. Hansen, and M. Srivastava, “Examining micro-payments for participatory sensing data collections”, Proceedings of the-12th ACM international conference on Ubiquitous computing, Ubicomp ’10, ACM, pp. 33-36 (2010)
- [65] Lee, J. S., Hoh, B., “Dynamic pricing incentive for participatory sensing. Pervasive and Mobile Computing”, Vol.6, Issue.6, pp. 693-708 (2010)
- [66] R. K. Ganti, F. Ye, and H. Lei, “Mobile Crowdsensing: Current State and Future Challenges”, IEEE Communications Magazine, Vol.49, Issue.11 (2011/11)
- [67] S. Mathur, T. Jin, N. Kasturirangan, J. Chandrashekhara, W. Xue, M. Gruteser, W. Trappe, “ParkNet: Drive-by Sensing of Road-side Parking Statistics”, in Proceedings of the 8th international conference on Mobile systems, applications, and services. ACM MobiSys’10, pp.123-136 (2010)
- [68] B. Hull, V. Bychkovsky, Y. Zhang, Kevin Chen, M. Goraczko, A. Miu, E. Shih, H. Balakrishnan and S. Madden, “CarTel: A Distributed Mobile Sensor Computing System”, in Proceedings of the 4th international conference on Embedded networked sensor systems, ACM SenSys’06, pp. 125-138 (2006)
- [69] P. Mohan, V. Padmanabhan, and R. Ramjee, “Nericell: Rich monitoring of road and traffic conditions using mobile smartphones”, in Proceedings of the 6th ACM conference on Embedded network sensor systems, ACM SenSys’08, pp. 323–336 (2008)
- [70] E. De Cristofaro, and C. Soriente, “Participatory Privacy: Enabling Privacy in Participatory Sensing,” IEEE Network Magazine Vol.27, Issue.1, pp. 32-36 (2013/02).
- [71] Deborah Estrin, "Participatory Sensing: applications and architecture, Internet Predictions", IEEE Internet Computing Vol.14, Issue.1, pp.12 - 42 (2010/12)
- [72] ワッタナワラオンクン ナッタポップ “身障者向け車椅子の屋内・屋外ナビゲーションシステムの研究 “， 情報処理学会研究報告 2012 IPSJ SIG Technical Report, (2012)
- [73] 岡村 美好 深田 直紘 “車椅子の振動加速度を用いた歩道路面凹凸の評価に関する研究 “， 土木学会塗装工学論文集， 第 9 巻， pp.17-23, (2004)
- [74] 岡村 美好 “タイル舗装の目地が走行中の車いすの振動と乗り心地に及ぼす影響 “， 土木学会論文集， Vol.64, No.1, pp.237-246, (2008)
- [75] 岡村 美好 “車いすの乗り心地に注目した歩行者系塗装の性能評価指標に関する一考察 “， 土木学会塗装工学論文集， 第 14 巻. pp.189-194, (2009)

- [76] 岩澤 有祐, 矢入 郁子, “3 軸加速度時系列データからの車椅子走行行動分析の研究“, 第 26 回 人工知能学会全国大会論文集, 3D2-R-13-9. (2012)
- [77] 岩澤 有祐, 矢入 郁子: ” 車いす走行ライフログの時空間解析による路面状況推定システム “, 第 27 回 人工知能学会全国大会論文集, 1D3-5. (2013)
- [78] 伊勢崎 隆司, 宮田 章裕, 渡部 智樹, 田中 智博:” 車椅子利用者の慣性・生体情報に基づく乗り心地推定 “, 情報処理学会 研究報告 グループウェアとネットワーク, Vol 2015-GN-95 No-18. (2015)
- [79] マイクロソフト Technet, ”IT 脅威の分類”, 入手先 <<https://technet.microsoft.com/ja-jp/library/dd362836.aspx>> (参照 2017-02-17)
- [80] 日立ソリューションズ, ” STRIDE 手法とは”, 情報セキュリティブログ (オンライン), 入手先 <<http://securityblog.jp/words/773.html>> (2009/08) (参照 2017-02-17)
- [81] Hernan, S., Lambert, S., Ostwald, T. and Shostack, A. "Uncover Security Design Flaws Using The STRIDE Approach", MSDN Magazine (2006/11)
- [82] Howard, M. and Lipner, S., “The Security Development Lifecycle. SDL: A Process for Developing Demonstrably More Secure Software.”, Redmond, WA: Microsoft Press (2006)
- [83] “Bonjour Overview”, available from <<https://developer.apple.com/library/mac/documentation/Cocoa/Conceptual/NetServices/Introduction.html>>(accessed 2017-02-17)
- [84] 有村汐里, 小林真也, 可児潤也, 司波章, 西垣正勝 “i/k-Contact:物理的ソーシャルトラストに基づくコンテキストウェア認証”, Computer Security Symposium, 1F2-1, pp. 224-231 (2013)
- [85] 二宮啓聡, 伊東栄典, 廣川佐千男 “NFC による安全な私的情報の交換”, 情報処理学会九州支部 火の国情報シンポジウム 2013 研究会報告, A-2-3, (2013/03)
- [86] 大畑真生, 太田賢, 土井千章, 稲村浩, 松浦伸彦, 峰野博史, 水野忠則, “携帯電話によるソーシャルプラットフォームのための端末グループ管理方式”, 情報処理学会研究会報告 Vol-2010-MBL-56 No17 Vol-2010-ITS-43 No-17 (2010/11)
- [87] CISCO, ”CISCO Spark Security and Privacy - CISCO Security White Paper” (online), available from <<http://www.cisco.com/c/dam/en/us/solutions/collateral/collaboration/cloud-collaboration/cisco-spark-security-white-paper.pdf>>(accessed 2017-02-17)
- [88] ソフトバンク, “オンライン不正詐欺の検知に役立つリスクベース認証とは?”, SB クリエイティブビジネス+IT (オンライン), 入手先 <<http://www.sbbit.jp/article/cont1/24410>>(参照 2017-02-17)

- [89] “MEMSに関する技術の現状と課題技術調査レポート
経済産業省産業技術環境局技術調査室 “（オンライン）, 入手先
<<http://www.mmc.or.jp/info/cafe/talk/memsreport/memsreport200303.pdf>> (2003/03) (参照
2017-02-17)
- [90] OpenStreetMap Japan, “OpenStreetMap 入門”（オンライン）, 入手先
<<https://openstreetmap.jp/node/762>> (参照 2017-02-17)
- [91] “HASC Logger - HASC(Human Activity Sensing Consortium)”, 入手先
<<http://hasc.jp/tools/hasclogger.html>>(参照 2017-02-17)
- [92] “Human Activity Sensing Corpus and Application HASCA2016”, 入手先
<<http://hasca2016.hasc.jp/index.html>> (2016) (参照 2017-02-17)
- [93] 馬田俊雄, “移動平均法の周波数特性変化”, 入手先 <<http://catalog.lib.kyushu-u.ac.jp/handle/2324/17836/p009.pdf>>(参照 2017-02-17)
- [94] 大山正, “SD 法による感性の評価”, 入手先<http://www.j-erg.net/report05/2005_10_oyama.pdf> (参照 2017-02-17)
- [95] “主成分分析”, 統計科学研究所, 入手先
<http://www.statistics.co.jp/reference/software_R/statR_9_principal.pdf>(参照 2017-02-17)
- [96] 渡部 大輔, 金澤 文彦, 澤 純平, “スマートフォンを活用したプローブ情報
収集システムの開発”, 国土技術政策総合研究所, 入手先
<http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/h25giken/program/kadai/pdf/innovation/innova2_01.pdf>
(2013/05) (参照 2017-02-17)
- [97] ネットワーク管理者のための Skype 入門, 入手先
<http://www.atmarket.co.jp/fwin2k/experiments/skype02/skype02_01.html>(参照 2017-02-17)
- [98] 文部科学省, “ワールドカフェとは”, 入手先
<http://www.mext.go.jp/a_menu/ikusei/kyoudou/detail/1367502.htm> (参照 2017-02-17)
- [99] 宇佐美 格, 王 亜楠, 高橋 淳二, 斎藤 祐樹, 戸辺 義人, “携帯端末を
用いたミーティング定量評価システムの構築”, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.2,
pp553-561 (2016/02)
- [100] 土田 貴裕, 友部 博教, 大平 茂輝, 長尾 確, “議事録に基づく知識活動サイクルの活性化”, 第 20 回人工知能学会全国大会論文集, Vol-3B3-1 (2006)
- [101] Nagao, K., Kaji, K., Yamamoto, D. and Tomobe, H., “Discussion Mining: Annotation-
Based Knowledge Discovery from Real World Activities”, Proc. of the 5th Pacific-Rim
Conference on Multimedia (PCM 2004), pp522-531 (2004/12)

研究実績

論文誌（査読有）

1) Hiroshi Jogasaki, Shinichiro Mori, Yoshitaka Nakamura, Osamu Takahashi, “Visualization and Avoidance of Uneven Road Surfaces for Wheelchair Users”, International Journal of Informatics Society, pp.25-33, June 2016

2) 城ヶ崎 寛, 原 政博, 森 信一郎, 中村 嘉隆, 高橋 修, “狭域エリアの ICT 活用”, 情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス&システム (CDS), Vol.7, No.1, pp.21-33, 2017年1月

国際会議（査読有）

1) Hiroshi Jogasaki, Yuta Ibuchi, Shinichiro Mori, Yoshitaka Nakamura, and Osamu Takahashi “Proposal for displaying discomfort information on the road targeting to the users of wheelchairs”, Proc. of International Workshop on Informatics, pp.139-146, September 2015

口頭発表

1) 城ヶ崎 寛, 中村 嘉隆, 高橋 修, “BYODに対応した個人情報保護方式の提案”, 情報処理学会 FIT2013 第12回情報科学技術フォーラム, 2013年9月

2) 城ヶ崎 寛, 森 信一郎, 中村 嘉隆, 高橋 修, “車椅子向け屋内ナビゲーションシステムのための路面コード設計法の乗り心地評価”, 情報処理学会 研究報告コンシューマ・デバイス&システム (CDS) 2015-CDS-12, 2015年1月

3) 城ヶ崎 寛, 森 信一郎, 渡邊 雄太, 中村 嘉隆, 高橋 修, “狭域空間での情報共有のため人とスマートデバイス間の協働により一時的なグループを形成するシステムの開発”, 情報処理学会研究報告コンシューマ・デバイス&システム (CDS) 2015-CDS-13, 2015年5月

4) 城ヶ崎 寛, 原 政博, 森 信一郎, 中村 嘉隆, 高橋 修, “狭域エリアでの ICT 活用”, 情報処理学会研究報告コンシューマ・デバイス&システム(CDS) 2016-CDS-16, 2016年1月