

．補完的課題

- ・ 科学技術振興調整費 「科学技術連携施策群の効果的・効率的な推進」
- ・ 平成 19～21 年度実施「センサ情報の社会利用のためのコンテンツ化」成果の概要
- ・ 研究代表者 京都大学学術情報メディアセンター センター長 美濃 導彦

5. 事業の概要（平成 19-21 年度）

5.1 研究の目的

近年、道路や駅構内、建物や街中など、我々が生活している実世界環境にカメラやマイクを含む様々なセンサを設置し、それらをネットワークで結んだユビキタスセンサネットワーク（以下「USN」という。）を構築する動きが社会で活発となっている。このような USN から得られる情報は、実世界を直接観測して得られる生のセンサ情報であることから、Web から得られる情報のように人が作成した編集型のコンテンツとは対照的な観測型のコンテンツとして社会で利活用出来る可能性がある。

本研究課題では、上のような USN がごく近い将来に社会全体に普及し、世界各地に様々な用途の USN が多数設置されている状況が出現するという予想の下に、その次の段階として、USN から得られるセンサ情報を Web のように誰もが自由に利用出来る仕組みを実現することを目指す。これにより、実世界の生の観測情報を地球規模で提供する人類共通の観測型実世界コンテンツが出現することになる。このようなコンテンツを本研究では“センシング Web”と呼ぶ。

USN をセンシング Web へと進化させるためには、Web における WWW や検索エンジン・ポータルに対応する技術を開発する必要がある。Web とセンシング Web を比較すると、どちらも情報伝送、コンテンツ化、コンテンツ構造化・提示の三技術から成り、それを基盤として利用することにより、社会調査や都市情報サービス、ショッピング、コミュニケーション、個人生活記録等の用途に対するアプリケーションが生み出される。一方、両者は情報の形態の点で異なり、Web の情報は人手で入力される編集型の情報であり、テキストデータを中心とするのに対し、センシング Web の情報は、センサによる実観測で得られた観測型の情報であり、パターンデータとなる。また、観測型の情報は、編集型の情報とは異なり、被観測者のプライバシー情報が含まれているため、利用者に応じてこれを保護するような仕組みも必要となる。

このうちプライバシー情報管理のためにはパターン処理技術、センサ情報のコンテンツ化のためには情報システム技術、コンテンツの構造化・提示のためにはメディア応用技術がそれぞれ重要な役割を果たすことから、これら三つの研究分野の研究者を結集し、緊密な連携の下にセンサ情報のコンテンツ化と構造化・提示およびプライバシー情報管理のための技術を開発する。

開発した技術が実社会で役立つためには、個々の技術の精度が高いだけでなく、それらを統合したシステムが全体として有効に機能することが必要である。さらに、社会的な利用を考えると、「センシング Web」のコンセプトを一般市民が理解し、受容することが重要である。そこで、開発した技術を統合したシステムを構築し、実際の公共環境に適用する実証実験を行った。また、実証実験において「センシング Web」のコンセプトを来場者に説明し、主にプライバシー保護の観点から技術の受容性を明らかにするアンケート調査も行った。これらを通じて、「センシング Web」実現に向けた可能性と課題を明らかにすることを目的とする。

5.2 研究計画

(1)センサ情報の中に含まれる被観測者のプライバシー情報を利用者に応じて段階的に取り除いて提供するための技術、(2)利用者による情報の要求内容の表現形式と、センサが提供する情報の表現形式とを相互に変換して結び付け、センサの種類や性能、設置状況の違いによるセンサ情報の多様性に関係なく利用者からの任意の情報要求を受理出来るための技術、(3)利用者からの情報要求に応じて、その情報を取得可能なセンサ(一つとは限らない)を検索し、そのセンサから提供されるセンサ情報を統合して分かり易く提示するための技術、の三つを研究開発し、これらを統合して公共環境での実証実験を行い、有効性を検証する。

5.2.1 プライバシ情報の管理

USNのセンサノードは被写体の個人情報情報を被写体の同意を得ずに無断で観測出来るため、センサ情報の利活用にはプライバシーの問題が生じる。センシング Web は、USN の各センサから得られるセンサ情報を Web と同様の利用形態の下に利活用するための枠組みであり、プライバシーの問題はセンサ情報の流通を妨げる原因となる。そこで本研究では、センサからデータを出力する段階でプライバシー保護処理を行うことで、この問題に対処する。

アプリケーションにおいては個人情報が必要ないことが多いので、センサ情報を処理して、プライバシー情報を含まないシンボル情報を抽出する手法の実現を目指す。このようなセンサとプライバシー保護処理を一体化した技術を「安心センサ」と名づけ、カメラ画像に対しては「変身カメラ」、マイク音声に対しては「変声マイク」として技術開発を行う。

5.2.2 センサ情報の共有

センシング Web は、センサにより自動収集される情報を源泉として、それを不特定多数のユーザがオープンに活用出来るようにする新形態のシステムである。このようなシステムでは、既存の Web システムと比べて扱う情報の階層構成や構造が異なることを踏まえた上で、センサ情報の利活用におけるサービス需給をマッチさせる技術が必要である。このため本研究では次の三つの基本技術を確立する。

- 1)センシングノード群の提供するサービスの仕様記述
- 2)センシング Web に対する情報要求の仕様記述
- 3)サービス仕様と要求仕様をマッチングさせる情報変換・伝達規則

さらに本研究では、これらの形式でセンサ情報を記述し、情報を公開、利用するプロトタイプシステムを構築する。応用例としては、カメラで撮影した映像を原情報とするものと、物体の有無等の物理量を原情報とするものの両方を対象とする。

5.2.3 観測型コンテンツの提示

センシング Web で開発した技術により、世界中に分散する様々なセンサ情報に対し、プライバシー情報がフィルタリングされた状況で、同一のプロトコルを用いてアクセスすることが可能となる。センサ情報の一つの特徴は、実世界を観測した多種類で多量のデータが実時間で生成され続ける点である。また、センサ情報は通常、そのセンサが設置された空間、および観測された時間と結びついたデータとなっている。このような時空間的な特性を持った膨大なセンサ情報を利用者が利活用出来るには、その特性を反映したコンテンツとして、利用者に対して効果的にデータを提示できなければならない。このようなコンテンツのことを観測型コンテンツと呼ぶ。

本研究では、実世界に分散配置された様々なセンサから得られるセンサ情報と、地理情報等の広域環境情報とを有機的に統合利用すると共に、これに基づいて利用者からの要求に応じてコンテンツを動的・適時的に提示する情報サービスを構築することを目的とする。



図 11 センサ情報の社会利用のためのコンテンツ化

5.3 研究体制

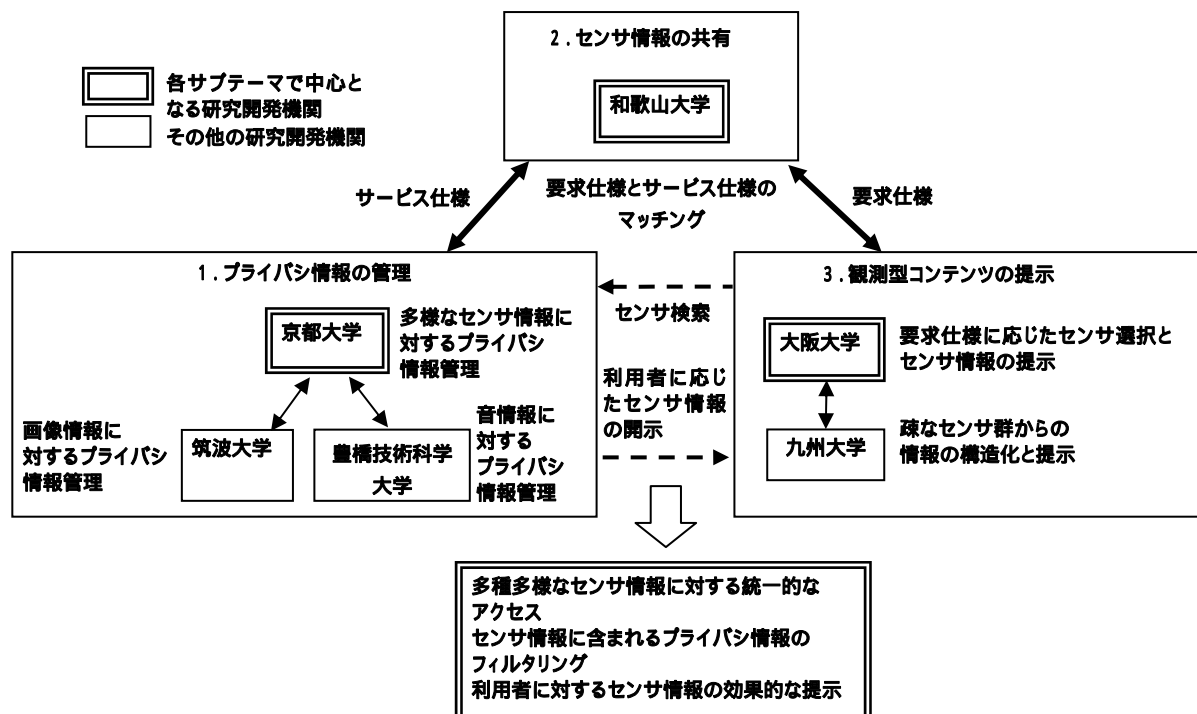


図 12 研究体制図

6. 研究結果

6.1 プライバシ情報の管理

6.1.1 概要

カメラから得られる映像やマイクから得られる音声などのセンサ情報には、被写体の個人情報が含まれており、そのまま公開することはプライバシー保護上問題がある。そこで、画像情報、音情報のそれぞれについて、パターン認識技術を適用し、プライバシー情報を分離する手法を開発した。

6.1.2 研究成果

(1)画像情報に対するプライバシー情報管理

(a)「変身カメラ」の提案

カメラは人物の姿をそのまま映像データとして出力するため、このデータをそのまま公開・共有すると、被撮影者のプライバシー問題を生じる。したがって、映っている人物が誰であるかが分からないように処理を施した映像や、人の有無や人数などといったシンボルデータや数値データに変換して公開しなければならない。このようなプライバシー保護された映像やデータを生成するためには、画像処理・パターン認識技術が利用出来る。例えば、プライバシー保護映像を作成する際には、元の映像に対して人物検出処理を施し、検出された位置にモザイクや黒塗りをを行う方法が一般的に用いられる。しかし、このようなアプローチの場合、図 13 に示すように、人物検出に失敗した際に人物の姿が隠蔽されず、プライバシーの侵害が起こる。この人物検出処理は、画像処理やパターン認識の分野で継続的に研究されており、本プロジェクトでも研究を進めているが、任意の映像に対して 100%正確に動作する手法を実現するのは不可能である。そのため、生成した映像がプライバシー保護されていることを保証することはできない。

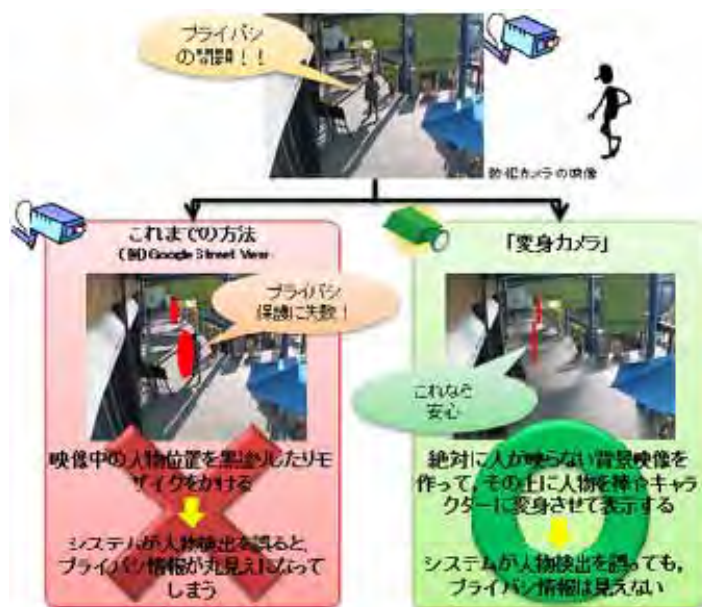


図 13 「変身カメラ」のコンセプト

そこで本プロジェクトでは、カメラが一般に固定設置されており、その映像を長期間撮り続けることは容易であることに着目した映像生成手法を提案した。この手法では、まず長時間観測によって蓄積した画像をもとにその瞬間の背景画像を生成する。一方で、元の

画像に対して人物検出処理を適用する。そして、この背景画像上で、人物が検出された位置にキャラクタを重畳描画してプライバシー保護画像を生成する。この手法により、人物検出処理に失敗が生じた際にも、キャラクタの描画位置のずれや描画が行われないなどといったことは起こるが、映像中に人物の姿が見えてしまうことはなく、プライバシーの保護を保証することが出来る。

本プロジェクトは、この提案手法を実装するとともに、この手法を適用したカメラを「変身カメラ」と名付け、積極的に情報発信するとともに、多数の方と意見交換を行った。

(b)長時間性に着目した要素技術開発

(a)で述べた手法によって、人物検出処理の性能が不十分であっても、プライバシーを保護することが可能となった。しかし、人物の位置や人数などの正確性を高めるためには、このような要素技術に関する研究も並行して進める必要がある。本プロジェクトは、人物検出処理と背景差分処理について、カメラの長時間映像を解析することによって次第に性能が向上する処理についても研究を行った。

(2)音情報に対するプライバシー情報管理

(a)遠隔発話音声認識システム

センサとしてのマイクロホンは接話マイクではなく、発話者から離れた位置にある。そのため、音声に含まれる言語的なプライバシー情報を抽出するためには、高精度な遠隔発話音声認識技術が必要となる。話者位置を推定することで、高精度な遠隔発話音声認識が可能になるので、話者位置推定技術を開発し、その結果に基づいて、遠隔発話音声認識の高精度化を行った。マイクロホンアレイネットワークとニューラルネットワークによる識別器を用いて、話者方向推定を行うことで、平面上で推定誤差 20cm (3次元空間では 23cm) の話者位置推定可能技術を開発した。

(b)声質変換・音声除去システム

「変声マイク」の一形態として、収録した音声に含まれる個人性情報からプライバシー侵害が発生することを避けるために、音声信号内の個人特性を分離して他者の特性に置き換える声質変換システムを開発した。また、周囲環境音をセンサ情報として活用するために、収録した音声に含まれている発話音声除去する音声除去システムを開発した。具体的には、既有的大規模音声データベース、雑音データベースを使用して、ガウス混合モデル(GMM)に基づく統計的な手法を開発した。

(c)音声認識結果からのプライバシー情報抽出・削除

「変声マイク」の別の形態として、音声認識結果に対してプライバシー情報を保護するために、音声認識結果から話者固有の情報を抽出し、それを削除または置き換える技術を開発した。まず、大規模テキストに対して「半教師あり学習」(正解ラベルが一部にしか付与されていない学習データによる統計モデル学習法)により固有名詞(人名)を自動的に抽出する。そして、抽出された人名に対する処理として三つのレベルを想定し、利用者のアクセスレベルに応じてプライバシー情報を提供するシステムを構築した。

6.2 センサ情報の共有

6.2.1 概要

センサにより自動収集される情報を公開して利活用するために、サービス仕様、情報要求仕様、サービスと情報要求のマッチング規則を記述する枠組みの作成と、実際に情報提供、利用を行うシステムの開発を行った。

6.2.2 研究成果

(1) センサノード群が提供するサービスの仕様記述

種類の異なるセンサに対しても、得られるデータの差異に依らず、統一的にセンサ情報を記述する枠組みを開発した。仕様記述に際しては、ロボット制御に用いられる時空間情報管理技術を調査し、これを環境センササービスの仕様記述と組み合わせた。これによって、統合化サービスとして時空間的な広がりをもつサービス仕様記述を可能とした。例えば、任意の空間に存在する複数の環境センサを検索し、同種のデータをひとまとめにして取得することが可能となる。また、計測間隔等の環境センサの時間的特性を利用して、複数のセンサ情報を同期させることも可能となる。この時、時空間情報に含まれる誤差についての記述を可能としたことで、統合化サービスに関する品質仕様が記述可能となったと言える。ロボット制御用の技術はオブジェクト指向で設計されていたため、マークアップ言語 XML のスキーマ（語彙集合の設計書）へのマッピングを行った。

(2) センシング Web に対する情報要求の仕様記述

空間的な広がりをもつ環境センサノード群に対して、環境情報を利用者が要求するための適切な語彙集合を開発した。任意の空間を指定する語彙（例えば、球形状を表す語彙<globular>と座標を表す語彙<coordinate>を組み合わせることで球空間を指定することが出来る）を用いることで、その中に存在する複数地点の環境データを一覧で取得することが出来るようになる。また、一覧で取得した環境データを組み合わせることで得られる情報を要求するために、上位の抽象度をもった語彙が利用出来る。語彙集合の設計には、マークアップ言語 XML のスキーマ技術を用いた。

(3) サービス仕様と要求仕様をマッチングさせる情報変換・伝達規則

複数の環境センサノードが任意の空間内で連携することを前提に、(1)で開発したサービス仕様記述と(2)で開発した要求仕様記述の間の時空間的な対応規則を変換言語（XSLT）で規定した。空間情報に関しては、サービス側と要求側で異なる座標系を用いた場合にも自動変換出来るようにした。同様に時間情報においては用いられる標準時の自動変換を可能とした。要求に対してサービス側の情報が不足した場合には、空間的に近くにある別のサービスを検索し、これを用いて補間することにした。また、保守性を高める観点から、座標系や標準時の自動変換を行うモジュールと、時空間統合（別サービスによる情報補間や環境データ間の同期）を行うモジュールとに分離して開発した。

(4) センサ情報提供システムの構築

開発した三つの基本技術を実装し、実際に、センサから得られる情報を公開する仕組みを構築した。HTTP プロトコルを用いた状態を持たない問い合わせ形式（REST）により外部からの要求に応える Web サーバを構築した。また、この情報提供システムを使って、センサ情報を取得して動作するサンプルアプリケーションを作成した。

6.3 観測型コンテンツの提示

6.3.1 概要

センシング Web では、実世界に設置された多数のセンサから得られる情報の利用を想定している。このような多数のセンサ情報をそのまま利用者に提示しても、個々のデータの意味や、データ間の関係の把握が困難である。そこで、本研究では、提供されるセンサ情報をコンテンツとして効果的に提示する技術を開発した。

6.3.2 研究成果

観測型コンテンツを提示する情報サービスとして、以下の 3 種類を提案・実装した。

(1)にぎわいマップ

センシング Web のセンサ情報を統計情報化して、2次元の地図上に提示する情報サービスである「にぎわいマップ」を構築した。この情報サービスでは、2次元の地図を一定の大きさのブロック単位で分割し、それぞれのブロック内で、過去数秒の間に観測された人物の数を累計し、地図上の各部分がどの程度混雑しているか（にぎわっているか）を提示する。センシング Web で開発したセンサ情報提供の仕組みを利用して、各ブロックに含まれるセンサ情報を取得し、一定期間累計した結果を、Web ブラウザで閲覧可能な形式に変換して提示するよう実装した（図 14）。

個々のセンサ情報は、観測された細かな位置情報を持つが、これをブロック単位に累計（統計情報化）することで、おおまかな人物分布として要約提示することが出来る。ブロックの大きさは、スライダーを用いて利用者が変更可能となっており、要約の粒度調整が可能である。また、利用しているセンサ情報は、プライバシー保護処理がなされたものであるが、統計情報化することで、個々の人物情報を識別することが出来なくなるため、より個人性の少ない情報提示方法となっている。

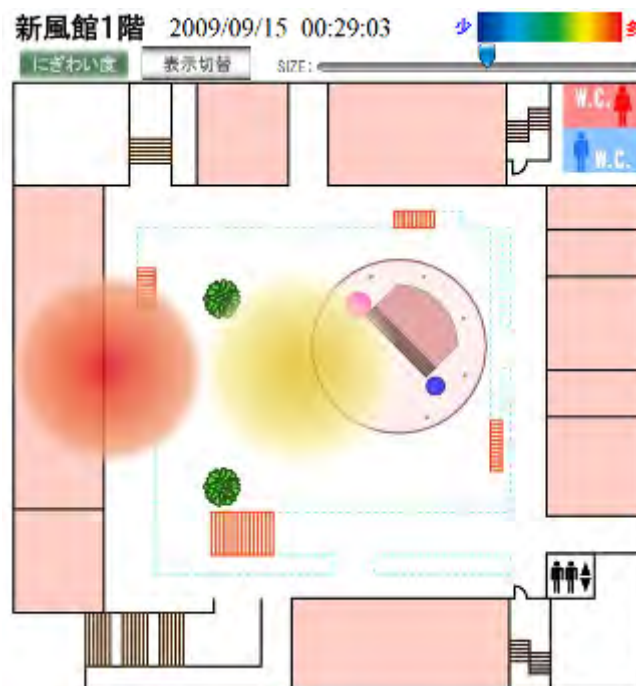


図 14 「にぎわいマップ」

(2)デジタルジオラマ

実空間を反映した 3次元モデルを作成し、その実空間に設置されたそれぞれのセンサから得られる情報を 3次元モデル上に配置して提示する「デジタルジオラマ」（図 15）を開発した。利用者は、3次元モデル内で、任意の位置から任意の方向を見ることが出来る。また、3次元モデルでは、事前に撮影した画像をテクスチャとして用いているが、デジタルジオラマ内で、カメラセンサ付近に移動すると、カメラセンサから得られる現在の背景画像をデジタルジオラマ上に重畳して見ることが出来る。さらに、カメラの視野をデジタルジオラマ上に表示する機能も実装した。時空間的特性をもつセンサ情報を、一つの 3次元空間に配置し、任意視点から提示することで、利用者は実世界の実時間の情報を、空間情報として容易に把握することが出来る。

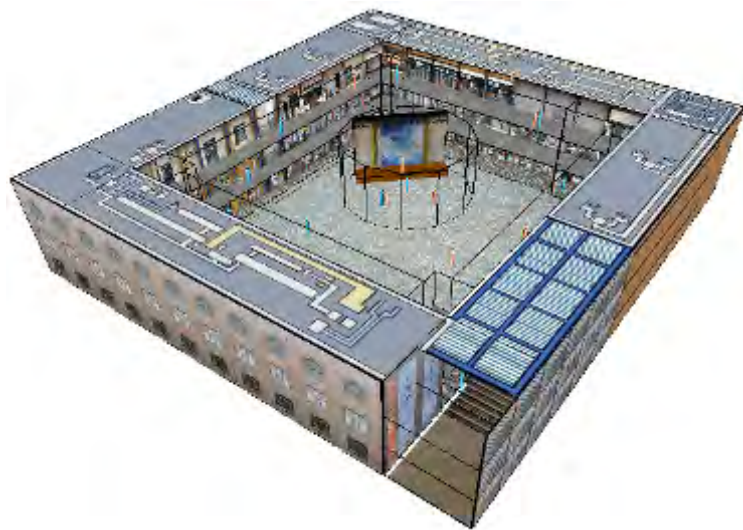


図 15 「デジタルジオラマ」

デジタルジオラマには、プライバシー制御の機能も実装した。人物等の移動物体に対しては、プライバシー保護処理が行われている「変身カメラ」を利用しており、人物画像の代わりに個人情報を含まないキャラクタとして表示される。一方で、例えば同行者とはぐれて相手を探したい場合では、相手を特定する必要がある。これに対しては、あらかじめ同行者グループが同じ RFID タグをもつことで、同行者に対してのみ、個人を識別可能な形で情報提示する仕組みを実装した。このようなプライバシー制御の考え方の導入により、利用者に応じた柔軟な情報提供が可能になる（図 16）。

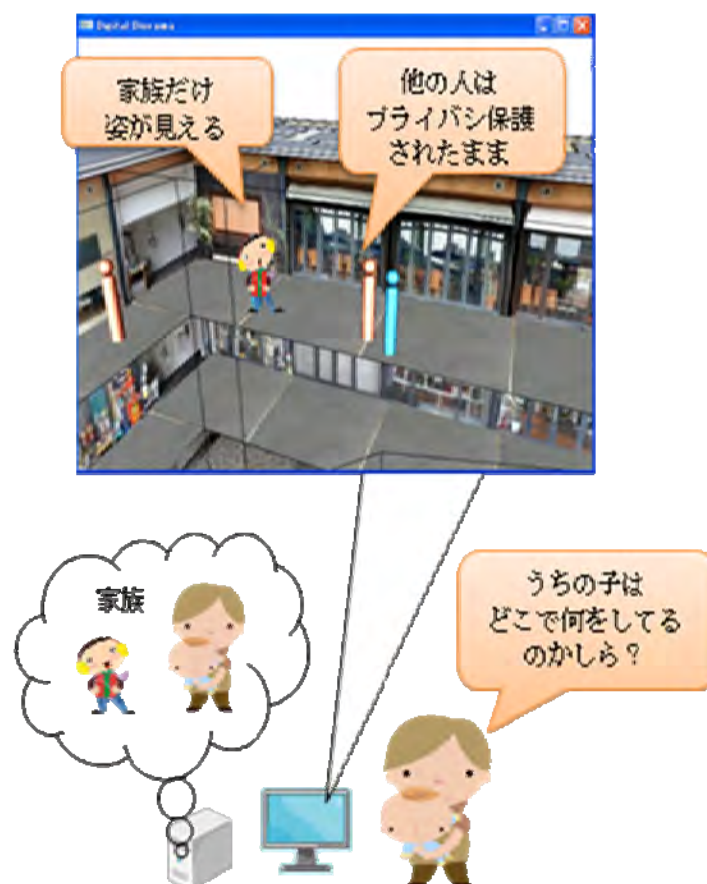


図 16 「デジタルジオラマ」におけるプライバシー制御

(3) シースルービジョン

環境に設置したセンサの情報を利用して、利用者からは物陰となっている場所の情報を提示する「シースルービジョン」を開発した。利用者とのインタフェースには、カメラ付きのモバイル端末を用いた。利用者の持つ端末の位置姿勢を計測し、端末のカメラ映像に対して適切な位置、大きさで、環境側のカメラの映像を重畳することで、情報付加した映像を提示した。モバイル端末と固定センサの情報を連携し、複合現実感技術を用いることで、実世界での利用者視点に応じた情報提示を可能とした（図 17）。プライバシー保護に関しては、「変身カメラ」を利用して人物のシンボル化を行った。物陰の情報が見えることから、実証実験のアンケートでは、プライバシー上の懸念が見られたが、利用しているセンサ情報は変身カメラと同様である。利用者視点で提示していることで現実感が増し、逆にプライバシー上の課題が生じていると考えられる。



図 17 「シースルービジョン」

7. 今後の展望

7.1 センシング Web（研究全体）

本研究では、多数のセンサ情報を効果的に提示する技術を開発し、実証実験を通じてその社会的な有効性、受容性を調査した。今回の実証実験では、実施施設である新風館が、マイクの設置により一般の来場者が悪印象を抱くことを懸念したため、音声に対するプライバシー保護技術の実験が行えなかった。この点については、技術的な観点のみでは解決できない。プライバシー保護技術の安全性についてより理解してもらえよう広報活動を続けることが必要である。

プライバシーを扱うためには、各個人が情報提供に同意することも必要である。公共空間において、個々に同意を得ることは、困難かつ利用者にも不便であることから、新たなプライバシー同意方式を考案する必要がある。例えば、個人が情報を収集される環境にあることを知りながら、あえてその環境下に自主的に入るのであれば、その時点で情報提供に同意したと理解出来る「環境オプトイン方式」の普及など、関連する法制度も含めた整備が今後の課題である。

7.2 プライバシ情報の管理

画像情報、音情報からプライバシーに関連する情報を除去する手法を開発した。現在、環境側に固定設置したセンサを想定しているが、今後はモバイル端末等が普及することから、可動型のセンサから得られる情報のプライバシー保護が課題として挙げられる。また、それぞれのセンサ情報において、個人の情報を除去しても、他の情報と組み合わせることでプライバシー情報が漏れる場合がある。例えば、個人の家の前の映像では、誰が出入りしたかが分からなくても、その家の家族構成等から、個人が推定できてしまう場合がある。このように、より広範な情報連携におけるプライバシー保護の扱いも、今後の課題である。

7.3 センサ情報の共有

センシング Web のセンサ情報を公開し、利活用するための技術を開発した。センサ情報を公開するシステムを構築し、実際にデータ公開を行っているが、現状では、プロジェクト外からのアプリケーション作成などの貢献事例を得るに至っていない。これは、データ公開の時期が遅くなったこと、およびデータ公開の広報が不十分であったことが原因である。今後、本研究の技術を広く公表し、多くの人に利用してもらうことで、有効性の検証を行うことが課題である。

7.4 観測型コンテンツの提示

本研究では、多数のセンサ情報を効果的に提示する技術を開発した。プライバシー保護技術により、センサ情報から個人の情報を除去してコンテンツとして利用していたが、個人を特定し、個人適応したオーダーメイドサービスが有用となる場合も考えられる。現在は、RFID タグを用いたグループ単位でのプライバシー制御を実現しているが、匿名情報と個人情報により細かく切り替えることが可能な仕組みについても、今後検討する必要がある。

以上