

第XIV部

実空間ネットワーク環境

第14部 実空間ネットワーク環境

第1章 iCARs — 実空間ネットワークの研究

iCARs WG は、実空間ネットワーク環境の構築を目指している。本章では、先ず実空間ネットワーク環境の定義を行い、本年度の活動について述べる。

1.1 実空間ネットワークの定義

PDC や PHS によるデータ通信技術、IEEE802.11b[68] に代表される無線ネットワーク技術の普及により、モバイルコンピューティング環境が実現しようとしている。一般にモバイルコンピューティング環境とは、小型計算機を携帯するユーザが、様々な場所で作業を行える環境であり、ホットスポットなどの公衆無線 LAN 環境の整備により今後ますます普及していくものと予想される。加えて、近年の計算機の小型化、無線通信技術およびセンサ技術の進歩により、ユビキタスコンピューティング環境の実現が現実的なものになってきている。ユビキタスコンピューティング環境は、様々なものに計算機が埋め込まれ遍在している環境をユーザが移動し、移動先の計算機資源を利用するコンピューティング環境であると言える。

ユビキタスコンピューティング環境は、計算機資源を広く整備するだけでなく、ユーザの周辺の環境がサービスを提供する必要がある点で、モバイルコンピューティング環境よりも実現が困難である。そのため、我々は実空間ネットワーク環境を提案している。

我々は、実空間ネットワーク環境を実空間のエンティティの情報を仮想空間から利用するコンピューティング環境であると定義している。この定義では、実空間ネットワーク環境の“実空間”という言葉は、現実の空間という意味を、その対義語である“仮想空間”は、計算機上のみ存在する情報空間という意味を持つ。

実空間ネットワーク環境を構築する目的は、ユー

ザや広く存在するモノに関する情報をもとに、ユーザへ周辺の環境のサービスを提供することにある。ユビキタスコンピューティング環境では、すべてのモノに広く計算機資源を埋め込む手法をとるのに対し、実空間ネットワーク環境では、計算機資源を埋め込むことが困難なモノに関する情報をセンサデバイスを介して利用し、その実現の手法を異にする。

本 WG では、以上の定義に基づき実空間ネットワーク環境の実現を目指し、研究活動を行っている。また、環境のすべてを一度に構築するのは困難であるので、先ず、実空間上のヒトの情報を取得し、管理する機構を構築することを目指した。

1.2 本年度の活動

iCARs WG は、実空間ネットワーク環境を実現を目指し研究を行っている。今年度は、センサデバイスから取得した情報を個人ごとに管理するモデルである Personal Server Model を提案し(2章)、そのモデルに基づいた機構である D2 システムを構築した。

D2 を利用した実験として、WIDE 合宿の際に行った実験(本報告書における実験の部で述べる)、慶應義塾大学で行われたイベントである HCD の際に行った実験(3章)を行った。加えて、WIDE 合宿のプログラム委員の作業負担を軽減するソフトウェアの試作(4章)を行った。

第2章 Personal Server Model

モノの情報を取得する為にセンサデバイスを利用するのが実空間インターネット環境であると既に述べた。今年度は、モノとモノの情報として、ヒトとその位置情報に注目した。センサデバイスから得た情報をもとに、ヒトがどこにいるかを管理する機構を構築するにあたり、自分の情報を個人ごとに管理するモデルである Personal Server Model を提案した。

2.1 Personal Server Model で想定するセンサ環境

近年、センサデバイスの高機能化、低消費電力化、小寸法化、低価格化が進んでいる。しかし、単一のセンサで多種多様な情報を取り扱えるわけではない。多種多様な実空間の情報を扱う為には、特定種類の情報を取得するセンサデバイスのインフラストラクチャが、多種類および多数必要になるものと考えられる [63]。多種類とは、位置情報や温度情報など、検知可能な情報の種類が多数存在することであり、多数とは、位置情報を検知するセンサデバイスが、大量に存在することである。多数の場合、地理的に分散していることも想定される。

例えば、位置情報を取得するセンサデバイスを想定した場合ですら、GPS を用いた衛星測位では、屋内など測位不可能な不感地帯が存在する。もし、その不感地帯で測位を行う為には、異なる測位センサデバイスを利用する必要がある。また、情報の表現に着目すれば、GPS のように極座標 (緯度経度高度) ではなく、“慶應大学湘南藤沢キャンパス大学院棟 2F 会議室 A” のような位置情報ラベルを用いて、人間が理解しやすい形式での情報を提供するほうが都合の良い場合も考えられる [147]。

これらの背景をふまえ、本研究では、多種多様なセンサデバイスが広範囲に分散している環境を想定する。ユーザはこのような環境の中を自由に移動し、ユーザの近辺に存在するセンサデバイスを実空間情報として取得する。

本研究では、ある管理者により管理されるセンサデバイスの集合をセンサインプラストラクチャと呼ぶ。このような環境では、センサインプラストラク

チャごとに、管理者が異なる場合、センサの種類が異なる場合、もありえる。また、同じセンサインプラストラクチャ内に存在する、複数のユーザの情報を同時に単一のセンサデバイスから取得することもありえる。

以下に本研究がセンサの環境をまとめる。

- 同一種類のセンサデバイスのある管理者が管理する集合をセンサインプラストラクチャと呼ぶ。
- ユーザは移動しながら、センサインプラストラクチャ内で近接するセンサデバイスを使用する。
- さまざまな種類のセンサインプラストラクチャが遍在する。

2.2 Personal Server Model

前章で述べた環境を実現するために本研究では Personal Server Model を提案する。これは全てのユーザは、自分に関する情報を保持するサーバを一つ保有し、そのサーバにセンサ情報も含めたさまざまな実空間情報を個人ごとに集中管理するモデルである。このユーザ固有のサーバを “Personal Server” と本研究では定義する。本モデルでは、ユーザー一人に対しひとつの Personal Server を保持する。

センサデバイスで取得された実空間の情報は、そのセンサインプラストラクチャ内のデータベースではなく、直接ユーザの Personal Server に送信される。また、センサの情報だけでなく、ユーザの所属や名前、連絡先、スケジュールや住所録などの個人情報も実空間情報として Personal Server で管理される。

図 2.1 に Personal Server Model の概要と相互の関係性を示す。この図では、実空間に存在する各ユーザそれぞれに対応するように、仮想空間に Personal

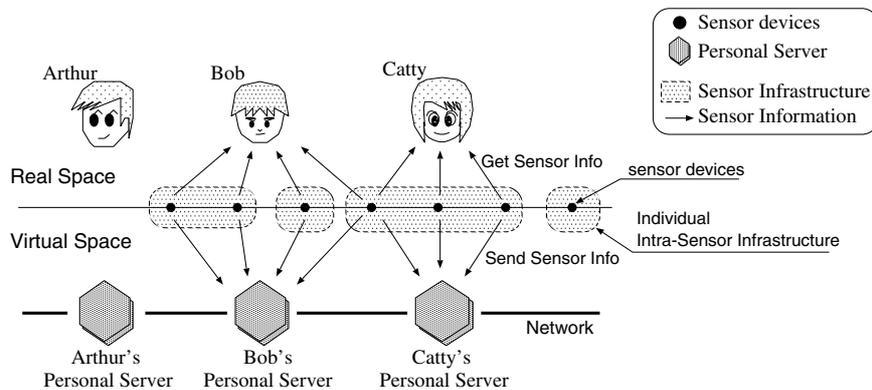


図 2.1. Personal Server Model

Server が置かれ、それぞれの Personal Server 同士はネットワークで接続されていることを表している。また、センサデバイスが取得したセンサ情報は、センサインフラストラクチャによって取得され、Personal Server に送られている。

また、センサ情報はセンサデバイス・センサインフラストラクチャの管理者に保持されることはなく、各ユーザの Personal Server に保持される。つまり、センサ情報はセンサインフラストラクチャに対して分散管理されることとなり、プライバシー保護を実現するとともに、ユーザ数の増加に対する規模性も提供できる。

2.2.1 Personal Server Model の前提機能

Personal Server Model では、全てのユーザが一意的な ID (Globally Unique ID、以下 GUID と呼ぶ) を保持していることを前提とする。この ID により、個々のユーザを識別することができる。

センサデバイスはセンサデバイス自身が取得する位置情報などの情報に加えて、その ID も取得可能とする。この ID を利用することにより、ユーザの識別などを行える。本研究は、このようなセンサデバイス環境を前提とする。

本研究では GUID の定義、管理、割り振りなどに関する議論は行わない。現在使用可能な ID 体系としては、Auto ID Center[22] や mu-chip[173] などがあげられる。Auto ID は、96 bit の ID 空間を、mu-chip は 128 bit の ID 空間を持つ。両者とも書き込み不可であり、製造段階で一意性が確保される。

GUID は 2.5 節で後述する Personal Server 発見手法である、SDP (Server Discovery Protocol) のために使用される。SDP は、センサインフラストラクチャがそのユーザの情報を管理している場所を把握するために使用される。SDP により、前節で述べたユーザ指向でのデータ管理を行う際に生じる問題点を解決できる。また、SDP では、GUID に対応する Personal Server が存在する場合、必ずその Personal Server を発見できるものとする。

さらに、Personal Server Model におけるセンサデバイスは実空間情報を取得することに加えて、この GUID も同時に取得することを前提とする。加えて、取得した情報を Personal Server へと送信するためのネットワーク接続性が必要である。そのため、本研究では、センサネットワークなどで想定してい

る低機能センサデバイスよりもセンサデバイス自体は多少高度な処理能力を持つことを想定している。しかし、本研究では、センサデバイス自身には触れず、また、センサデバイスが取得する情報に関しては正規化などが行われていることを前提とする。

2.3 Personal Server

Personal Server はそのユーザに関するセンサ情報を全て保持・管理するサーバである。センサ情報を保持するために、Personal Server はデータベース機能を持つ。

別の Personal Server あるいは他のアプリケーションは、センサ情報を取得したいユーザの Personal Server に対して接続し、そのユーザに関するセンサ情報を要求する。Personal Server は、この要求に対して、データベースに保持されているセンサ情報を返信する。このセンサ情報を受信することにより、アプリケーションは、そのユーザに関するセンサ情報をネットワークを越えて利用できる。

Personal Server は、アクセス管理機構を持ち、要求が不適切な通信相手からのものであれば、その要求を破棄する機能を持つ。センサデバイス管理者がセンサ情報を保持せず、インフラストラクチャに対して分散した Personal Server にセンサ情報が保持されることに加えて、このアクセス管理機構により、プライバシー保護が実現される。

また、Personal Server はユーザの情報を保持し、アプリケーションからの要求を待つ必要があるため、常にネットワーク上に存在しているものとする。すなわち、Personal Server に対して接続が不可能な場合や、接続の切断などは発生しないものとする。また、Personal Server の移動も考えないと事とする。ただし、Personal Server は、インターネット上のどこにあっても構わない。

アクセス管理機構

Personal Server Model では、そのユーザに関わる情報をそのユーザの Personal Server が集中管理する。Personal Server は、他のアプリケーションなどからの要求に応じてセンサ情報を返答する。

Personal Server には、プライバシー保護を実現するためにアクセス管理機構を持つ。アクセス管理機構を通じてのみ、信頼関係のある相手には、そのアクセス権限に応じて適切な情報を公開することを可

能とする。この際、前述した GUID を利用することで、相手の特定を行う。信頼関係のある GUID の取得は、名刺交換などで行われる。従って、GUID の取得、交換自体は本研究の範疇ではない。

信頼できる GUID の追加や信頼できない GUID の追加、アクセス権限の追加変更などのアクセス管理はユーザ自身が行う。そのため、管理がしやすいようにグループ単位でのアクセス管理を可能とする。例えば、“研究室”というグループを用意し、このグループに属する GUID に対しては自分の位置情報を公開するという、一括したアクセス権限の設定を可能とする。

2.4 プライバシ保護問題の解決

プライバシー保護に関しては、従来のモデルでは、センサの管理者という第三者が介在したために、ユーザの個人的な情報を第三者が保持することになっていた。しかし、本研究が提案する Personal Server Model では、センサ情報はセンサから直接 Personal Server に送信される。この通信が暗号化などで保護されることで、現在使用していない、他のセンサはセンサ情報を盗聴できない。また、ユーザが現在使用しているセンサの管理者は、センサ情報を全て盗聴可能であるが、本節で後述する GUID しか分からないため、誰のセンサ情報が分からない。

センサインフラストラクチャの管理者が誰のセンサ情報を把握する場合は、Personal Server に直接アクセスし、GUID をもとにした名前情報の要求を行う必要がある。その際でも Personal Server には、アクセス管理機構が存在し、不適切な要求を拒否することができる。

結果として、Personal Server Model では、以下に述べる対象へのプライバシー保護が行われる。

現在使用しているセンサインフラストラクチャの管理者はセンサ情報は取得できるが、誰のセンサ情報が分からない。

他のセンサインフラストラクチャの管理者はセンサ情報は盗聴できない。

他のユーザやアプリケーションはアクセス管理により、不適切な要求として拒否される。

2.5 ユーザ移動問題の解決

本研究が想定している環境では、さまざまなセンサデバイスが広範囲に分散して存在する環境の中を

ユーザが移動する。そのため、ユーザに関するセンサ情報を取得する場合、どのセンサインフラストラクチャに要求すればよいか分からないという問題が生じる。これをユーザ移動問題と呼ぶ。

Personal Server Model では、ユーザに関する情報は一つの Personal Server で管理されているため、常に同じ Personal Server に対して要求を行えばよい。これにより、ユーザの移動に関する問題点は解決される。

Personal Server Model では、そのユーザに関するセンサ情報を取得したセンサデバイスは、そのユーザの Personal Server に対して、取得したセンサ情報を送信する。また、あるユーザの情報を得ようとする他のユーザは、そのユーザの Personal Server に対してアクセスすることでその情報を得ることができる。

しかし、Personal Server は、インターネット上のどこにあっても構わないという前提がある。これは利点ではあるが、同時にセンサはセンサ情報の送信先が不明であるという欠点となる。また、他のユーザも情報の要求先が不明となる。従って、Personal Server Model では、Personal Server のネットワーク上の位置が分からなくなるという問題点が存在する。

本研究では、SDP(Server Discovery Protocol)を提案することでこの問題点を解決する。SDP は、各ユーザが保持している GUID を利用して、そのユーザが持つ Personal Server のネットワーク上の位置を取得する。これにより、ユーザの現在位置および使用しているセンサデバイスに関わらず、Personal Server のネットワーク上の位置を検出することができる。

以下に SDP に必要な機能について述べる。

SDP の機能要件

SDP に対する機能要件として、以下の機能があげられる。

- 規模性

原則として、Personal Server は一人につき一つ用意される。そのため、数十万、数百万の規模で Personal Server は存在する可能性がある。多数の Personal Server の中から、できるだけ速やかに Personal Server を発見することが必要である。
- ID の匿名性

GUID は、そのユーザを一意に識別する識別子である。この GUID を元に、センサデバイスは Personal Server を発見する。

これは、GUID さえ取得できれば、その人の関連する実空間情報を保持している Personal Server を発見することができるということであり、プライバシーに関わることである。従って、GUID は第三者に分からないように保護されるべきである。

一方、tcpdump や port scan などのさまざまなネットワーク層でのツールを使うことにより、そのホストが Personal Server である、ということは容易に識別できる。しかし、そのホストが Personal Server である、ということがたとえ判別できたとしても、その Personal Server を管理しているユーザを識別不可能であればプライバシーの侵害は起こらない。そのため、Personal Server のネットワーク上の位置を示す IP アドレスに関する匿名性は、本研究では特に扱わない。

●低機能ノードへの対応

SDP は、Personal Server を発見する必要があるノードすべてが利用する。これは、センサノードも例外ではない。しかし、一般にセンサノードは処理能力やストレージ、ネットワーク帯域などが非常に限定されている。このようなノードでも SDP を使用することが可能でなければならない。

●確実性の保持

SDP グループ内では、登録が動的に行われる。この登録内容を取得するためには、最終的に必ず GUID から IP アドレスへと変換できなければならない。ただし、その GUID および IP アドレスの両者が登録されていることをその条件とする。

2.6 センサ情報の表現手法

Personal Server に保持されるユーザに関するセンサ情報は、他のアプリケーションなどと交換、利用ができなくては意味がない。従って、Personal Server の中に保存されているセンサ情報を他のアプリケーションと交換するためのデータフォーマットおよびプロトコルを規定する必要がある。

Personal Server にはそのユーザに関するセンサ情報が保持される。その際、Personal Server の中でど

のような形式で実空間情報が保持されるかは実装依存であるが、他の Personal Server あるいは他のアプリケーションがそのセンサ情報を利用する場合には、共通の形式でセンサ情報が表現されていなければならない。

従って、Personal Server Model には、センサ情報の表現手法と、その交換手法が必要となる。

また、Personal Server 内に保持されているセンサ情報は、今後さまざまな種類が必要に応じて追加されるであろう。しかし、現段階では今後どのような情報を扱うようになるか予測不可能である。従って、センサ情報の表現、交換手法は拡張可能であるべきである。

本研究では、全ての情報にはその情報が誰に関しての情報を示す GUID、どこで取得されたかを示す位置情報、いつ取得されたかを示す時刻情報が暗黙的に付加されていると考える。従って、これら三つの情報を、重要な情報とし、交換に必要な最低限の情報として、必ずセンサ情報の交換に使用する。以下にその情報を列挙してまとめる。

- GUID
- 位置情報
- 時刻情報

第3章 Home Coming Day 実験

本章では、2002年11月23日に開催されたイベント「Home Coming Day 2003」における iCARs システムを用いた実証実験について述べる。Home Coming Day 2003 は、慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスで開催された卒業生向けのイベントであり、約400名の卒業生が集まりパーティなどのイベントを行った。この際、WIDE 合宿での実験などで構築した iCAR システムを用いたサービスを提供した。

Home Comming Day とは、2002年11月22日に、SFC(慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス)にて ORF(Open Research Forum) と同時開催されたイベントで、SFC の卒業生が多数集まり、交流を深めた。

2002年9月の WIDE 合宿での実験では、位置情報を取得し、提供することに主眼が置かれていたが、

Home Comming Day では、位置情報を取得し、それに応じて情報を送信することを行った。つまり、WIDE 合宿では受動的な機能しか提供しなかったが、Home Comming Day では、情報の送信という、より能動的なアプリケーションを提供した。

3.1 提供したサービス

RF-ID を利用した参加者の位置情報取得を行った。取得した情報は、下記のサービスで利用した。

参加者には事前に携帯メールアドレス、所属サークルなどの属性情報を登録してもらった。これらの情報を元にさまざまなサービスを参加者に対して提供した。

以下にサービスの種類を列挙し、その内容を述べる。

- 携帯への情報提供
- 現在地に関する情報提供
- マッチング情報提供
- 大学教員の位置情報

3.1.1 携帯への情報提供

ある属性を持つ参加者全員が持つ携帯電話に対して情報を送信した。これにより、参加者間のコミュニケーションを促進することができた。

3.1.2 現在地に関する情報提供

参加者の現在地付近で行われている展示に関する情報を参加者の携帯メールアドレスに対して送信するサービスを行った。携帯メールアドレスに情報を送信することにより、参加者の利便性を向上させた。

3.1.3 マッチング情報提供

ある参加者の近傍に、同じ属性情報 (同じサークルに属していたなど) を持つ参加者が一定数以上存在する場合、その属性を持つ他の参加者に現在地とともにその旨を送信する。

このサービスにより、同一属性を持つ参加者が集合している場所を他の参加者が知ることができ、集合を促進することができる。

3.1.4 大学教員の位置情報

大学教員の位置情報を携帯から閲覧できる形式 (CHTML) で、web 上に随時表示した。この情報を携帯で閲覧することにより、大学教員との再会をしやすくした。

3.2 実験システムの構成

実験システムの構成を図 3.1 に示す。

3.3 本実験に向けたシステムの改良

本システムで利用した、データベーススキーマを以下に記す。それぞれタグ ID が共通の要素として設定してあるため、タグ ID をキーとして関係を作成することができる。

Core 部

Core 部は、前章で述べた、センサ情報を表現するために必要不可欠な情報を含めた。

- タグ ID 参加者に携帯してもらったタグの ID
- 位置情報 取得されている、最後の位置情報
- タイムスタンプ 最後に位置情報が取得された時刻

Person 部

Person 部にはその参加者に関する情報を格納した。この中には属性情報も含まれる。この属性情報を元に、マッチングサービスを提供した。

- タグ ID 参加者に携帯してもらったタグの ID
- 姓、名 (漢字)
- 姓、名 (ひらがな)
- 性別
- 携帯 Mail アドレス
- 生年月日
- 卒業年度
- 所属サークル
- 所属研究室
- 所属アドグル

room 部

部屋ごとの展示スケジュールデータを以下のように表現した。この展示スケジュールデータを用い、参加者の位置情報と時間情報に基づいた展示情報を送信するサービスを提供した。

- 各部屋における展示の開始時間
- 各部屋における展示の終了時間
- 展示が行われる場所

3.3.1 位置情報センサ (RF-ID) の改良

本実験では、参加者の位置情報を取得するために

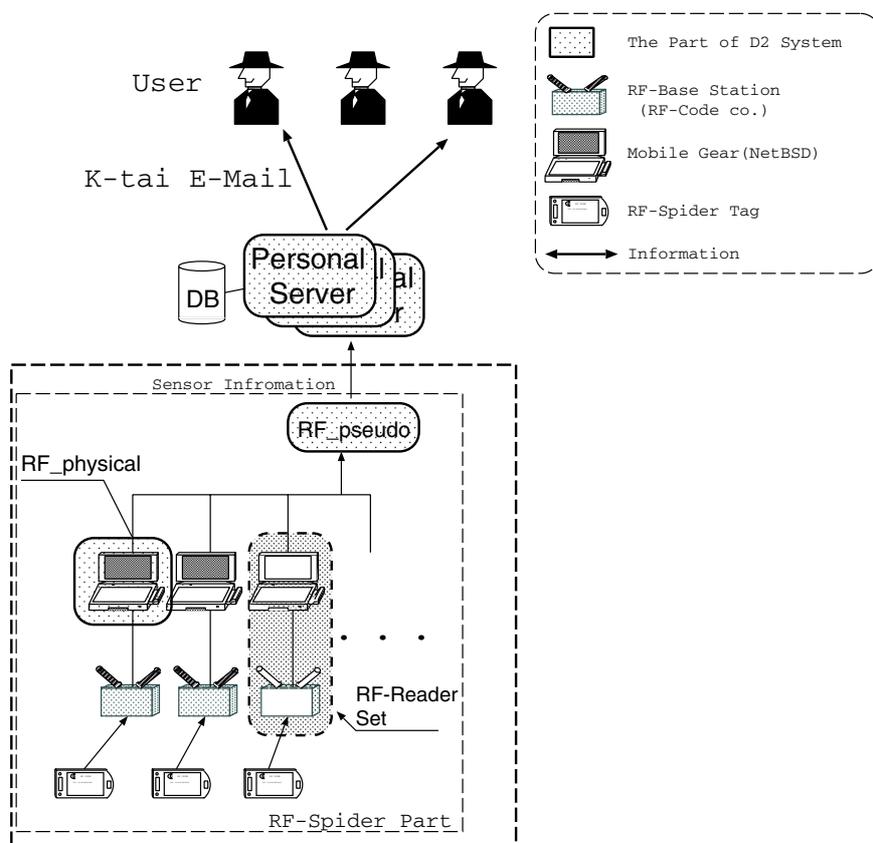


図 3.1. HCD 実験システム全体図

RF-ID を利用した。参加者が保持する RF-ID タグから発信される電波を検知するために、基地局にはアンテナが付属しており、このアンテナの性能によって基地局が網羅できる範囲が決定される。しかし、本実験では、建物単位での位置情報を取得することが求められていたことおよびアンテナの性能がボトルネックとなり基地局単体では建物をカバーすることはできなかった。

そのため、本実験では複数台の基地局を仮想的に一つにまとめた。これにより、広範囲での位置情報を取得することができるようになった。

具体的には、基地局間で取得した情報を共有し、一つの基地局で参加者が範囲外に出たとしても、他の基地局が検知している場合は、範囲内に参加者がいると判定した。これにより、複数の基地局を仮想的に一つの基地局と見なすことができた。

3.4 まとめ

「Home Coming Day 2003」において、RF-ID を利用した参加者の位置情報を取得し、その参加者の

位置情報を利用したサービスを提供した。本実験では、携帯メールアドレスに情報を通知することによる情報提供に特に焦点を当てた。また、Home Coming Day では、卒業生の場合であることから位置情報を利用したマッチングサービスを提供した。これにより、参加者同士のランデブーが促進された。

第 4 章 合宿プログラム委員支援ソフトウェアの試作

WIDE 合宿では、プログラム委員と呼ばれるスタッフが、プログラムの円滑な進行だけでなく、参加者の生活を支援する為の活動をしている。本 WG では、2002 年度に行われた 2 度の合宿において、プログラム委員の負担を軽減する為のソフトウェアの試作し、実際に合宿で運用した。

Wide_No	tag_id	Name	9日夕	10日朝	10日昼	10日夕	11日朝	11日昼	11日夕	12日朝
1	MZKLLQR		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
2	KPFDODZ		Y	N	Y	Y	N	Y	Y	N
3	BUSWTKT		Y	N	Y	Y	N	Y	Y	N
4	GVEMZMQ		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
5	GVNMLLR		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
6	HGSHGAX		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
7	KHLFQO		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
8	DAITQYN		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
9	MHYVHXA		Y	N	Y	Y	N	Y	Y	N
10	KMSVTFW		Y	N	N	Y	N	Y	Y	N
11	FIVKWUN		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
12	AGWWQMR		Y	N	Y	Y	N	Y	Y	N
13	EUOFKMB		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
14	CKMCHKZ		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
15	AOYVPLK		N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
16	KTQCEPR		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
17	LFAJZL		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
18										

図 4.3. CSV ファイルのスクリーンダンプ

4.3 今後の課題、まとめ

本節では、プログラム委員支援ソフトウェアに関する今後の課題を述べ、まとめる。

4.3.1 今後の課題

実験では、ユーザの認識に現在バーコードを利用している。しかし、バーコードでは名札の向きにより読み取れない場合がある。近接無線タグをバーコードの代わりに利用することにより、読み取り精度が向上することが期待される。

また、近接無線タグを利用により利用者自身がリーダに名札を接近させることにより、さらなる自動化が可能ではあるが、参加者自身の負荷が微増することから検討を要する。

4.3.2 まとめ

WIDE 合宿において、プログラム委員の作業負荷を軽減するためのソフトウェアとして、食事チェックソフトウェアを試作した。従来手作業で行われていた食事チェックを、本機構を利用することにより、半自動化した。結果として、プログラム委員の負荷を軽減することができた。

