

# 実空間ネットワーク環境 (SPEARS) に関する研究\*

奈良先端科学技術大学院大学  
附属図書館研究開発室  
羽田久一 (hisaka-h@wide.ad.jp)

2002 年 10 月 31 日

## 1 実空間ネットワーク

インターネットは世界最大のコンピュータネットワークであり、その拡大は今だ続いている。しかしながら、現在のインターネットにおいては、ノードは TCP/IP と呼ばれる通信規約をサポートするコンピュータであり、その多くは PC やワークステーション、サーバと呼ばれるような汎用コンピュータである。

デバイスの高度化や家電の浸透などから、コンピュータやネットワークと家電製品を結びつけた情報家電という分野が盛んに取り上げられるようになってきている。情報家電では、従来はネットワーク接続が考慮されていなかった、一般の家電製品である、TV や冷蔵庫、電子レンジといったものまでネットワークの一部としてとりこもうとしている。これらの相互接続により、メールやチャットなどといった、コミュニケーションのみならず、インターネットをもっと実生活に即したものと変化させることが可能である。

さらに、実空間にはネットワーク化が考慮されていない、あるいは困難なものも存在する。生物などのようにデバイスを埋め込むことが困難なものや、消耗品や日用品のようにコスト的に見合わないものなどである。これらをネットワーク的に存在させるためには、仮想的にネットワークに接続されたものとの通信を行うモデルを構築する必要がある。

これらのあらゆるものが実際に、あるいは仮想的に接続された環境を本 WG では、実空間ネットワークと呼んでいる。

## 2 Spears の目標

本研究ではあらゆる物体をインターネットに接続することを目標とし、実空間に存在する物体とネットワークとの協調によって得られる新しいネットワーク環境の構築を目標としている。

このような環境を構築する場合には、現在のインターネット技術では解決しえない多数の問題が出現すると想定される。これらの解決を行うことが主たるテーマである。以下にそのテーマを列挙する。

- 位置情報の取り扱い

実空間に存在する物体 (実空間オブジェクト) がネットワーク上に存在するサービスやオブジェクトともっとも違う点は、実際に形状があり、どこかに存在するという点である。そのため、iCARs では実空間上での所在である、位置情報を実空間オブジェクトにおけるもっとも基本的な情報の一つであると考え、位置情報の表現をふくめた取り扱いについて議論を行っている。

---

\*本研究は 2001 年年度に WIDE Project 内での研究として行われた。

- ノードの仮想化と通信

実際にはネットワークに接続できないようなノードを仮想化し、ネットワーク上で存在させることは、iCARsにおけるノードのモデルにおいてもっとも重要な意味を持つ。このような手法により、従来ではネットワーク化が想定されていなかった、生物、消耗品、日用品といったものもネットワーク上のオブジェクトとして扱い、情報を付加したり、検索、閲覧などを行うなど、ネットワーク化された利点を得ることができる。

- 名前付けと発見

多数の実空間、ネットワーク空間オブジェクトが存在する世界を想定した場合には、従来のネットワーク上での名前付けである DNS をベースとしたシステムではカバーできない範囲が存在する。日常生活での物体の指定方法としては、名前や特定の ID ではなく、○○の上ののっている×× といった指定や、○○の右にある××といった相対位置を元にした指定や、その赤い○○、××さんの○○といった表現が広く行われる。このような狭い範囲でのみ通用するオブジェクトの指定方法はネットワーク上での唯一の名前を保証する仕組みとは違い、同じ名前であっても、コンテキストにより違うオブジェクトを指す場合がある。

このような問題を解決するために、名前付に関しても新しい仕組みが必要であり、研究課題の一つとしてあげられる。

## 2.1 spears モデル

本研究では ネットワークに実際に接続されたものばかりではなく、仮想的に接続されたものを取り扱う。そのため、従来のネットワークにおける P2P やサーバクライアントといったモデルではデータの取得が難しい。そこで、実空間に存在するあらゆるものを仮想的にネットワークに接続するためには、なんらかの方法でネットワークに接続することができない仮想的に接続された物体との通信を行う必要がある。

本章では 現在議論をすすめている、システムのモデルについて述べる。本研究で提案する Spears モデルでは、実空間ネットワークを取り扱うために、ネットワーク上に存在できるエンティティはもちろん、仮想的にしかネットワーク上に存在しない物体も包括的なシステムで取り扱うことを目標としている。

### 2.1.1 実空間オブジェクトとその仮想化

インターネットでは、ノードとノードが End-to-End の通信を行なっている。実空間ネットワークでは、図 1 のように、計算能力のないモノを計算機と同様に、ノードとして扱う。モノをネットワークに参加させることにより、モノとノード、モノとモノの通信を通常の IP を用いるコミュニケーションとして成立させることを目指す。この際に、モノの代わりに通信を行なう機構が必要になり、これを代替ノード機能として提案する。

iCARs アーキテクチャでは実空間とネットワーク空間を同時に扱うことが必要であり、これらをそれぞれ、RealSpace、CyberSpace と呼ぶ。

Realspace 上に存在する物体を RealSpace Object(RSO) と呼ぶ。これらは実際にあるいは仮想的にネットワークに接続された、実空間上に(世界に)存在する物体である。実空間上での存在である RSO に対してネットワークからアクセスするためには、なんらかのアクセス手法が必要となる。本モデルでは、実空間に存在する RSO にはそれぞれネットワーク上での代理的存在である CyberSpace Object(CSO) を定義することとした。CSO は RSO と 1 対 1 で対応するネットワーク上のオブジェクトであり、全ての通信は、CSO 間で行われる。図 2 のように、対応する CSO が対応するモノの位置をはじめとする情報を保持することになる。

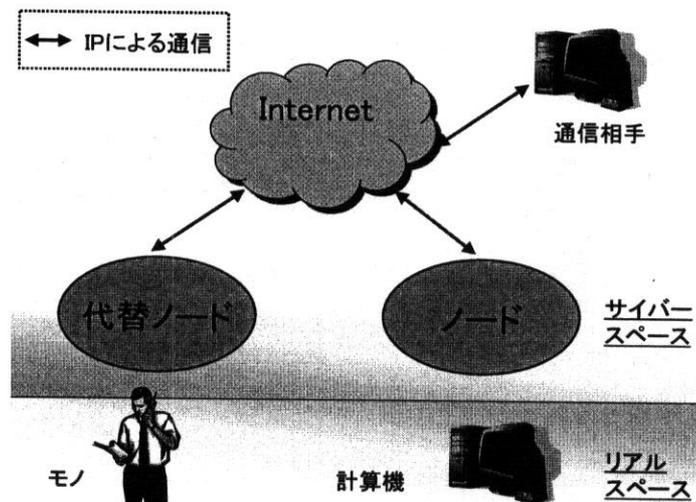


図 1: 計算能力のないモノ

CSO はネットワーク上で一意に識別できることが望まれるのみであり、従来の情報家電などのように、実空間に存在するオブジェクトと同一の場所に存在する必要がない。さらに、CSO はそれぞれが識別できれば、一つのコンピュータ上に複数の CSO が存在することも可能である。このような CSO の特徴から、CSO には IP アドレスのようなネットワーク上のアドレスではなく、専用の名前空間をもつユニークネスを保証できるような空間のアドレスを持つ必要がある。

さらに、CSO は RSO が存在しない場合にも存在することができる。これは仮想デバイスのようなものを想定した場合である。たとえば、ある部屋に存在する複数の温度センサを考えた場合、一つの温度センサそれぞれに対応する CSO が存在するのが原則である。しかしながら、部屋というオブジェクトを想定した場合には、複数のセンサを統合的に取り扱う、メタセンサが存在し、それにより部屋全体の様子を取り込めるほうが効率的である。メタセンサに対応する CSO は、ネットワーク上には存在するが、実際には複数のセンサの集合であり、実空間では存在しない。

また、逆に RSO が持つ機能に着目した場合に、それぞれの機能単位での CSO を定義することが考えられる。このような場合には、それぞれの RSO を機能毎に分解したものを想定し、一つの RSO に対して CSO が複数存在することとなる。たとえばラジカセのようなものは、音を再生するアンプと出力先のスピーカ、FM や AM のチューナ、CD や MD のプレイヤーといった複数の機能に分割することができる。

それぞれの CSO は違う機能を持つこととなるが、RSO としては同一の物体を指し示していることとなり、CSO と RSO は 1 対 1 の対応でないことがわかる。

このように、CSO と RSO はそれぞれが多対多の結合を持つシステムであり、それらの中からどのようにして必要な CSO、RSO や機能を選択するかは大きな問題である。

### 2.1.2 名前付けとサービスの発見

CSO はネットワーク上において、実空間に存在する RSO の代理としての役割を担う。そのため、本モデルではネットワークを通じて CSO にアクセスすることは、RSO への通信とほぼ同義である。CSO は RSO の情報を仮想的に保持し、インタラクションを助け、通信を行う。RSO の情報は、内蔵、あるいは外部からのセンサ情報を元にとりこまれ、CSO へと送られる。また、CSO からのメッセージが RSO に伝え

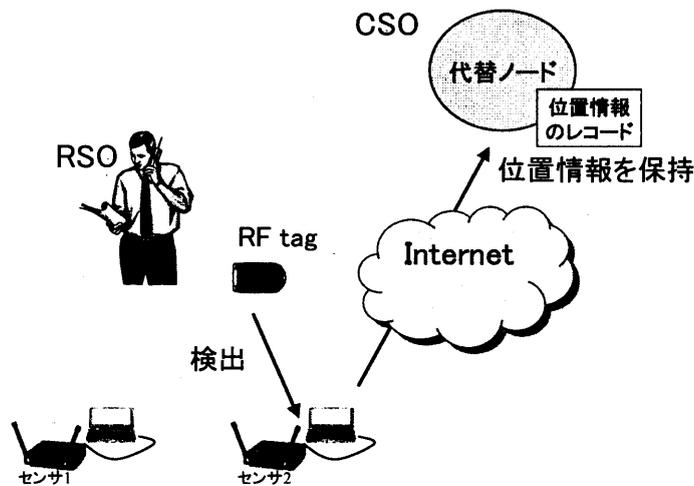


図 2: モノと代替ノードの対応

られ、実空間に対する働きかけを行う。

CSO が持つ ID は RSO との対応以外に、ネットワーク上の通信端点である IP アドレスあるいはそれに準じるものとの対応が必要となる。しかしながら、これらの CSO は前節で述べたように集中して管理されたり、複数の CSO を一つの計算機で扱ったり、CSO 自体が計算機間を移動したりということを想定すると、IP アドレスそのものではなく、違うものを利用することが望ましい。

RSO を指定する場合には、本質的には CSO の ID を指定することになるが、利用者それぞれがこの CSO の ID を知っているわけではない。そこで、なんらかの名前付けおよび、その呼出しシステムが必要となる。

CSO の ID は一意である必要があるが、名前においては、利用者の想定する範囲内において一意であり、特定可能であれば十分である。また、実空間オブジェクトの特徴として、その相対的な位置情報を元とした表現が行われることが想定されており、これらへの対応は課題となっている。

また、同様にオブジェクトが持つサービスの発見や、あるサービスを持つオブジェクトの発見機構は iCARs プロジェクトの中でも大きな部分を占めるといえるが、いまだ議論が続いており、今後の課題であると言える。

### 3 Spears モデル実証実験

2002 年 3 月 4 日から 7 日にかけて、WIDE 合宿参加者の追跡をネットワークを利用して可能とするシステムの実証実験を行った。

本実験は、ネットワークを利用した WIDE 合宿参加者の追跡を可能とするシステムを用いて合宿中の利便性を向上させるとともに、実空間ネットワーキングに関する実験を行うことを目標とした。

また、特定の参加者を追跡するのみならず、複数の参加者の関連や、位置情報からの参加者の検索などのインターフェースを用意することにより、柔軟な検索を可能としている。参加者の追跡手法としては、RFID を用いた部屋単位での人間の追跡と LIN6-MA (Mapping Agent) を利用したネットワークセグメント単位でのノート PC の位置追跡を行った。

システムは対象である参加者や PC の位置を把握するためのセンサノード、ノート PC の移動を検知するサーバ、そしてこれらの位置情報を集積するバックエンドサーバの 3 つの部分から構成される。

構築したシステムを元に、人間や PC の位置情報をネットワーク上から閲覧、検索可能とする実証実験を行った。また、Web を通したインターフェースを用いることにより、実験参加者がそれぞれ他の参加者の居場所を追跡したり、ある場所に存在する参加者の集合を検索することを可能とした。

## 4 実証実験システムの構成

本実験のシステムは、以下の三つの機能で構築されている。

- ユーザ位置検出部
- LIN6ID による Note PC 検出部
- データベース部

ユーザ位置検出部は、実験参加者が身につけているタグからの情報を利用し、参加者の位置を検出する機能である。また、LIN6ID による Note PC 検出部はノート PC に割り振られている LIN6ID をもとに、そのノート PC が存在する場所を検出する機能である。データベース部はこれらの位置情報を集約し、管理する。また、データベース部は位置情報を利用したいユーザに対して web インタフェースを通じて情報を提供する。

図 3 に WIDE 合宿で使用したシステムの全体構成図を示す。

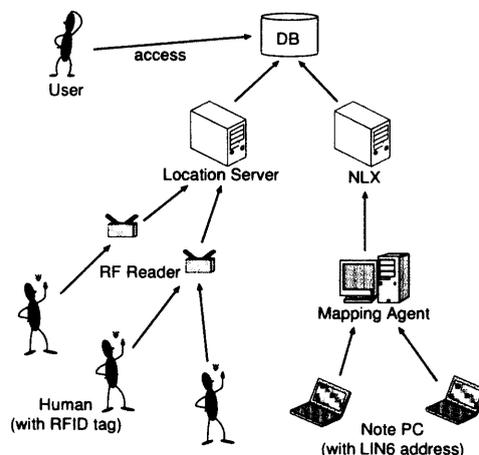


図 3: WIDE 合宿における iCARs システム構成

この図では参加者が持っているタグからの情報が RF リーダを通して Location Server に送られることを示している。また、ノート PC に割り振られている LIN6ID が Mapping Agent を通して NLX に向かい、データベースに格納される様子を示している。同時に、このようにして蓄えられたデータベースに対して、web インタフェースを通じてユーザが情報を取得することを表している。

これらそれぞれの機能について、以下の節で詳細に述べる。

### 4.1 ユーザ位置検出部

本実験では参加者の位置情報を検出するためのシステムとして RF Code 社の spider タグを利用した。本実験では、このタグを名札とともに参加者全員に常時携帯してもらった。

この spider タグは電池を内蔵した無線タグであり、それぞれが固有の ID をもち、300MHz 帯の電波として発信している。電波の発信感覚は約 3 秒であり、この電波を RF リーダが捉えることにより、参加者がその RF リーダの検出範囲内にいることを検知する。RF リーダの検出範囲は約 10m であり、ほぼ一つの部屋に相当する。



図 4: Spider タグ



図 5: RF リーダ

本実験では、各部屋ごとに RF リーダを設置した。各 RF リーダは取得したタグ ID とリーダがおかれている部屋の名前を位置情報サーバ (Location Server) に送信する。

位置情報サーバは受け取ったデータを基にユーザの位置を特定し、データベースに登録する。

RF リーダは RF リーダ自体とネットワークを利用するためのモバイルギア (NEC 製 WindowsCE 端末) で構成される。RF リーダおよびモバイルギアは電池駆動が可能であり、無線 LAN を使用することでわずかな時間で完全に Wire Free で移動することが可能である。

モバイルギアと RF リーダは RS-232C で接続されており、RF リーダが検出したタグ ID などをモバイルギアが持つネットワークを経由して、位置情報サーバに送信される。

各々モバイルギアは OS を入れ替え、NetBSD/hpcmips にて動作している。小型軽量かつ低消費電力な CE 端末を用いて PC-UNIX である NetBSD を動作させることにより、会場中に遍在する端末をネットワークを介して操作、設定することが可能である。

図 5 にその様子を示す。

#### 4.2 LIN6ID による Note PC 検出部

LIN6 では、各ホストに対して、LIN6ID という一意の ID が割り振られる。ホストが prefix を割り当てられると、LIN6ID と prefix が合成され、IP アドレスが自動的に生成される。この IP アドレスを、Mapping

Agent(MA)に登録することにより、ホストがどのネットワークに存在するかを通信相手に通知し、位置透過性を実現する。

本実験では、参加者が複数のPCを持つ場合に対応するために、LIN6IDを各参加者ごとに16ずつ割り当てた。

参加者がノートPCを各部屋のネットワークにつなぐことにより、LIN6IDとprefixが自動的に合成され、IPアドレスが生成され、LIN6IDとともにMAに送られる。IPアドレスを受け取ったMAはNLX(Network Location eXchanger)と呼ばれるデーモンにIPアドレスおよびLIN6IDを送信する。NLXはLIN6IDによって、そのノートPCの持ち主が、prefixによって、そのネットワークがわかる。本実験では、各部屋ごとに異なるprefixを持つネットワークが構築されているため、これにより、ノートPCの位置を知ることが可能である。

NLXはこのようにして取得したノートPCとその所有者情報、位置情報をデータベース部に通知する。

### 4.3 データベース部

位置情報サーバおよびNLXは取得したデータをデータベース部に送信する。

ユーザはWebインタフェースを通じてデータベース部にアクセスすることにより以下の機能を使用できる。

#### 1. 位置情報の検索

IDを指定し、そのIDを持つ利用者の位置を検索する。IDの指定方法としては、WIDEメンバーに一意に割り振られているWIDE番号を用いるほか、利用者の名前やメールアドレスを元に検索することも可能である。

#### 2. 位置からの情報検索

位置を指定することにより、その付近に存在している利用者のリストを提供する。これによりその付近ごとに存在している利用者を知ることができる。また、部屋の状況や参加者の集まり具合を遠隔からも知ることができる。

#### 3. ノートPCの追跡

各参加者のノートPCに割り振られているLIN6IDを基にノートPCが置かれている場所を特定することが可能である。

#### 4. 特定ノードの追跡

今回の実証実験では、合宿の運営委員にそれぞれ、役職に応じたタグを用意し、個人のタグだけではなく、追加として役職タグを携帯してもらった。そのため、合宿中になんらかの不備が生じた場合でも、委員に対して直接要請をすることが可能となる。

役職タグは各個人のタグとは別であるため、役職タグを手渡しすることにより、要請を受ける人を自由に変更することができる。

## 5 まとめと課題

本節では、2002年度3月期WIDE合宿におけるシステムの実証実験をまとめ、さらに抽出された問題点を述べる。

## 5.1 解析結果

今回の実証実験ではユーザに対してその時点での位置情報提供サービスを行うとともに、把握したユーザの位置をすべて記録した。これにより、合宿中の人の動きや、BoFへの参加具合などを合宿終了後に解析することができる。

合宿終了後、実証実験の一環として記録の解析を行った。この際、プライバシーを十分に考慮し、個人を特定しその動きを追跡することはせず、全体的な数のみの解析を行った。

解析の結果、人の動きの大まかな流れがわかり、合宿全体における人々の活動具合を調べることができた。図6に、その解析結果のグラフの一部を示す。

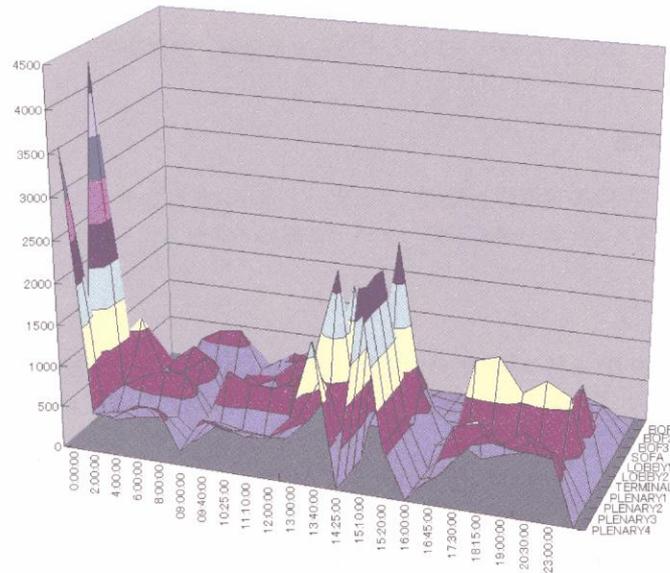


図6: 解析結果 (部分)

## 5.2 まとめ

本実証実験では、実空間に存在するさまざまな情報をネットワークを利用して透過的に扱うことを目的として実験を行った。

実験項目として、実験参加者に無線タグを携帯してもらい、会場内部に受信機を設置することにより、他の参加者の位置情報を検出した。この位置情報をユーザそれぞれの属性として取り扱い、ネットワークを通じて閲覧、検索などの操作を行った。

また、LIN6システムと組み合わせることにより、人の位置だけではなく、ネットワーク上に存在するホストの位置情報までも取得することが可能となった。

本実験により、ユーザの位置情報やある部屋といった単位で参加者の状況を把握することが可能となり、合宿の運営の支援や参加者どうしのコミュニケーションを支援することが出来た。

### 5.3 課題

今回の実証実験では、以下の問題点が抽出された。

- リーダの検出範囲

合宿で利用した部屋は壁が薄く、RF タグの電波が簡単に通り抜けてしまう。そのため、部屋をまたいだリーダが電波を受信してしまった。これにより、ある瞬間は部屋 A にいたのに次の瞬間には部屋 B にいる、ということが続出した。

- 検出に要する時間

タグの電波発信間隔は約 3 秒である。一方、RF リーダの検出範囲は約 10m であるため、利用者が早足で駆け抜けると、検出が不可能な場合が存在する。

このように、今回の実証実験では主に RF リーダの機能不足による課題が非常に顕著に現れた。今後は、利用者の過去の履歴を参照し、離れた場所で突然検知された場合はデータを無視することや、複数の RF リーダを組み合わせ、より正確に利用者の位置を把握することを目標とする。また、RF リーダ以外の位置情報取得システムの導入や併用利用なども検討する。

また、今回の実証実験では、利用者の位置情報を取得しても、その利用者と直接コミュニケーションをとることができない。今後、携帯電話に対する e-mail 送信など、利用者から情報を取得するだけでなく、利用者への情報の送信などをするシステムを構築し、直接的なコミュニケーションの支援システムを実現していく必要がある。

