

実世界の情報環境を拡張するための 空間依存型コンテンツ提供・アクセス制御記述手法

服部 峻[†] 田中 浩也^{††} 田中 克己^{††}

[†] 京都大学工学部情報学科 〒 606-8501 京都府京都市左京区吉田本町

^{††} 京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻 〒 606-8501 京都府京都市左京区吉田本町

E-mail: †{hattori,hirotanaka,tanaka}@dl.kuis.kyoto-u.ac.jp

あらまし 無線通信や測位装置を備えたモバイル端末を持ち歩くことで、位置に応じてデジタル情報を取得できるシステムが開発されている。しかし、従来研究では、実世界で元々行われている物理的なサービスも同時に取得されることを考慮しておらず、意図に反する情報であっても追加可能である。本稿では、ある実空間にデジタル情報を追加可能なユーザを土地所有者などに制限することで問題解決を図る。さらに、空間所有者は追加して欲しい情報の条件を、情報所有者は追加したい実空間の条件を記述し、互いに条件を満たす組をシステムが仲介することで、実空間の物理的なサービスと追加されるデジタル情報とが連携し、相乗効果や新たな価値を生み出せる仕組みを提案する。

キーワード モバイル・コンピューティング, 拡張現実, 空間依存, アクセス制御, 提供制御

A Description Method of Spatial Access and Install Control for Real World Information Environment

Shun HATTORI[†], Hiroya TANAKA^{††}, and Katsumi TANAKA^{††}

[†] School of Informatics, Kyoto University Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501, Japan

^{††} Department of Social Informatics, Graduate School of Informatics, Kyoto University Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501, Japan

E-mail: †{hattori,hirotanaka,tanaka}@dl.kuis.kyoto-u.ac.jp

Abstract Many systems which provide mobile users with digital information dependent on their current location have been designed and developed. However, most of the existing researches don't consider the users get information through their mobile terminals equipped with wireless communication and geo-positioning facilities, along with physical services in the real world. Therefore, any user can add any information to any location, even if the information is improper to the location. In this paper, we propose *Spatial Access and Install Control model*, in order to prevent information installed in a real space from conflicting with physical services, and generate synergistic effects or novel values, by combining them harmoniously.

Key words Mobile Computing, Augmented Reality, Space-Dependent, Access Control, Distribution Control

1. はじめに

近年、計算機の小型化や無線通信技術の進歩により、モバイル端末を通して「いつでも」「どこでも」ネットワークからデジタル情報を取得できる移動体計算機環境が整ってきた。さらに、GPSなどの測位技術も組み合わせ、ユーザの地理的位置に応じて情報を提供するシステムが開発されている。一般向けには、現在位置を地図上に表示し目的地までナビゲーションするサービス、周辺の店舗や施設などの地域情報の提供や対象物の最寄り検索などがある。また、従来研究には、大別して、特定の施設内限定のシステムと、基本的にあらゆる場所を対象にしたシ

ステムとがある。前者としては、美術館や博物館のガイドシステム C-MAP [1] などがある。後者としては、ユーザから発信されたインフォール情報の共有システム NAMBA Explorer [2]、デジタル情報にアクセスするには特定の位置に実際に行く必要がある位置限定の情報提供システム SpaceTag [3] などがある。

本稿では、位置依存情報提供システムが提供するデジタル情報は、ユーザのいる実世界で元々行われている物理的なサービスと共に取得されることを考慮し、実世界において実空間ごとに所有者がいるように、計算機システム上で実世界に対応する情報世界においても情報空間ごとにデジタル情報を排他的に置く権利を有する所有者が存在し、他者は勝手に置けないという

制限を加える。従来研究のように、どこにでも自由にデジタル情報を追加できると、実空間に元々置かれている物理的な情報の意図に反するデジタル情報でも勝手に追加し利用者に提供できたり、実空間で元々行われている物理的なサービスと同時に取得することで価値（効果）があるデジタル情報が他の雑多な中に埋没したりすることが問題であり、ある位置（実空間）に計算機システム上でデジタル情報を追加できるユーザは、その位置に実世界で物理的な情報やサービスを自由に置ける土地所有者などに限るべきという考えに由来する。例えば、ある店舗の空間に、競合店が安売りなどのデジタル情報を勝手に追加し、利用者に提供できると好ましくない。利用者にとっては有益かもしれないが、その店舗の経営者にとっては営業妨害である。また、公共の場の提供者の意図に反して携帯電話などのモバイル端末が使用されている現状は、社会問題になりつつある。

今後のモバイル・ユビキタス社会で、情報技術により実空間をデジタル情報で拡張する際は、実空間で元々行われている物理的なサービスと、その上に追加されるデジタル情報の意図とが互いに衝突せず、さらには両者の協調連携により相乗効果や新しい価値を生み出せる仕組みが必要であると考えられる。例としては、ミュージック・ライブ中の会場内限定で、アーティストの様々なアングルの写真や映像を配信するサービスが考えられ、実空間から生のアーティストや音楽などの物理的なサービスを得ると同時に、モバイル端末を通して写真や映像などのデジタル情報も取得できる。また、映画館内限定で、スクリーンには通常のメインストーリーを流し、個々人のモバイル端末にはいくつかのサイドストーリーを配信し自由に選択できたり、解説や見所ポイントなどを見れたりするサービスも考えられる。これらは、実空間に所有者が設置し、その空間を利用する不特定多数のユーザが共用するサービスやデバイス（ディスプレイなど）からの情報と、ユーザのモバイル端末に個別に配信される情報との連携である。それぞれの情報の特長を生かし、補完し合うことで、新たな情報提供のモデルとなることが期待される。

以上のように、実空間に元々置かれている物理的な情報と、計算機システム上で追加されるデジタル情報とが調和的に連携するシステムを実現するには、次の要件を満たす必要がある。

- 空間に所有者を記述し、情報追加できるユーザを限定。
- 空間提供者は自らの空間に置ける情報の条件を記述。
- 情報提供者は自らの情報を置ける空間の条件を記述。

本稿ではさらに、次の要件についても扱う。

- 提供者は情報や空間にアクセス可能な利用者の条件を記述。
- 利用者はアクセス要求したい情報や空間の条件を記述。

本稿では、実空間の情報環境を真に拡張することを目標に、空間指向のコンテンツ提供・アクセス制御モデルを提案する。本モデル内のユーザには、空間提供者、情報提供者、情報や空間の利用者という三種類の役割があり、空間提供者は自らが有する情報空間に他者が有する魅力的なデジタル情報を置くことで空間利用者を増やしたかったり、情報提供者は自らが有するデジタル情報を他者が有する利用者数の多い情報空間に置くことで空間利用者に提供したかったりする。本稿では各ユーザの意図を、空間提供者は情報空間に置いて欲しいデジタル情報の

条件として、情報提供者はデジタル情報を置きたい情報空間の条件として予め記述しておけば、条件が互いに合う情報空間とデジタル情報の組をシステムが見付け出し有効にする。

以下、2章で関連研究を挙げ、本稿との比較を行う。3章では提案する SAIC (*Spatial Access and Install Control*) モデルについて述べる。さらに、4章でシステム動作、5章では設計した XML ベース記述言語 SAICL による本モデルのオブジェクトの記述例について述べる。最後に6章で本稿をまとめる。

2. 関連研究

2.1 位置依存情報提供システム

モバイルユーザの重要な特徴は、地理的位置が変化することである。その位置に応じてデジタル情報を提供するシステムは、特定の施設内だけを対象としたものと、基本的に実世界全体（様々な施設を内包する空間）を対象としたものに大別できる。

前者には、C-MAP [1]、都市情報システム UCIS [4] などがある。これらでは、対象とする施設（実空間）の所有者、システム構築者、デジタル情報を追加できるユーザが基本的に一致しており、本稿が問題視している、実空間で元々行われている物理的なサービスの意図に反するデジタル情報が勝手に追加されることはない。あらゆる施設において所有者がシステム構築すれば、位置依存情報提供サービスをどこでも利用できるようになる。しかし、実際には、システム構築するコストに比べてデジタル情報を追加するメリットが小さいと考える所有者もあり、あらゆる実空間で利用可能にはならない。また、システムは互いに閉じており、施設ごとに専用のモバイル端末が必要であったり、専用のアプリケーションをダウンロードしなくてはいけなかったりする。本稿は、利用者は携帯電話などの単一のモバイル端末を持ち歩くだけで、行った先々の位置（実空間）に相応しいデジタル情報を取得できるシステムを想定しており、前者とは対象とする空間が異なり、後者に分類できる。

後者には、モバイルインフォサーチ [5]、NAMBA Explorer [2]、SpaceTag [3]、MolFie [6] などがある。モバイルインフォサーチは、WWW を情報源としており、各 Web ページは位置に関係なくアクセスできる。そして、Web ページの内容に関連する位置や場所をシステムが推定しメタデータとして付加することで、ユーザの位置に応じてフィルタリングした結果を提示する。NAMBA Explorer では、不特定多数のユーザがインフォーマル情報を発信し地図上のどこにでも自由に置け、また情報が属性として持つ位置に実際に行かなくてもアクセス可能である。各 Web ページに空間メタデータをシステムが付与するモバイルインフォサーチとは違い、作成者自身が設定することでモバイル用の情報になりやすいかもしれない。しかし、ともにデジタル情報へのアクセスが特定の位置に限定されておらず、基本的にどこからでもアクセス可能であるため、特定の空間にデジタル情報を追加して付加価値を持たせることはできない。SpaceTag では、各デジタル情報はアクセス可能空間という属性を持ち、その実空間内に実際に来たユーザのみがアクセスできる。この点は本稿も同様である。しかし、SpaceTag では空間属性の値を作成者が自由に設定できる（デジタル情報を

どこにでも自由に追加できる)が、本稿では空間属性のある領域を設定できる(ある領域を占有する実空間にデジタル情報を追加できる)ユーザを限定している点が大きく異なる。また、SpaceTag では利用者に対するアクセス制御として位置と時間のみを扱っているが、本稿では利用者の個人情報(ID, 性別, 年齢など)も考慮し、より詳細なターゲティングで情報提供できる。MolFie は、利用者が取得したいデジタル情報の条件を記述できる点は本稿と類似しているが、デジタル情報が追加される実空間で元々行われている物理的なサービスの意図は考慮しておらず、情報空間の所有者という概念もない。位置に応じた情報提供システムの従来研究と本稿との比較を表1にまとめる。

表1 位置依存情報提供システムの比較

	アクセス制御		ユーザの 要求記述	情報提供制御 (空間提供者)	対象 空間
	位置	個人情報			
C-MAP			×	×(不要)	特定
NAMBA Explorer	×		×	×	全
SpaceTag		×	×	×	全
MolFie				×	全
SAIC(本稿)					全

○: 実装済 ◐: 実装予定 ×: 考慮せず

2.2 コンテンツ提供・アクセス制御

ユーザのいる位置や空間の情報を用いて、実空間が備えたデジタル機器へのアクセスを制御する研究も行われている。ある実空間に複数ユーザが入り、機器を操作する状況を制御するシステムがある[7]。ユーザがいる実空間に置かれているリソースにしかアクセスできない点や実空間ごとに管理者がいる点は類似しているが、リソース提供者と空間提供者の間の意図記述を扱っていない点が本稿と異なる。また、操作対象の機器が置かれている実空間内にユーザがいる場合はID認証なしで、空間外にいる場合はID認証を課すシステムもある[8]。本稿では、室内の温度調節やBGM変更などの実空間に備えられた機能を、その空間の利用者が協調制御できるサービスも想定しているが、実際に行かないと利用できず、遠隔操作は想定していない。

情報提供者の意図を記述した提供ポリシーをコンテンツと一緒にカプセル化し、モバイルエージェントとして流通させることで、コンテンツ自身が流通を制御可能な仕組みもある[9]。エージェントプラットフォームである場にも、コンテンツ流通に場を提供するポリシーを埋め込むことができ、情報伝達の媒体の意図を記述できる点は本稿と類似している。しかし、本稿が扱う媒体が実空間であるのと異なり、ネットワークリソースであるため、その媒体で元々行われているサービスといったものはない。また、媒体間に空間的な包含関係などの親子関係もなく、階層構造を持たない。本稿が空間(媒体)に指向しているのに対し、コンテンツ提供者に指向している点も異なる。

3. 制御モデル

3.1 情報空間および空間所有者という概念

ユーザの位置に応じてデジタル情報を提供するシステムには、空間(位置の集合)を情報に付随する単なる一属性として扱う

ものと、情報とは分離して階層構造を持った空間モデルとして管理するものがある。前者においても、ある位置を含む空間を属性に持つ情報を高速に検索するため、R木などの多分木構造でアルゴリズム的に管理することはあるが、システム内にデジタル情報が全くない場合には空間構造も存在しない。従来研究には、SpaceTag や NAMBA Explorer などがある。

後者は、人間が直感的に理解できる空間の包含関係により構築することが多く、親空間が占有する領域は、子空間が占有する領域を包含する。例えば、ショッピングモールという親空間は、店舗という子空間を複数持つ。親空間に情報を置くことは、その子空間の各々に同じ情報を置くことと同等である。また、システム内に情報が全くない場合にも空間モデルは存在する。つまり、空間モデルは情報の集合と独立して管理され、参照リンクなどで結び付けられる。従来研究には、MolFie などがある。

本稿は後者であり、空間をデジタル情報の容器と見なして情報空間と呼ぶ。また、情報空間ごとに情報を排他的に置く空間所有者という概念を導入する。よって、本稿の空間モデルは、情報空間と所有者の組を多分木構造で表現する。本稿は図1のように、情報が利用者に伝達する過程で媒体として情報空間(実空間)を経由することを考慮し、従来研究と比べ空間に指向する。これに伴い、空間所有者の意図も重要視する。

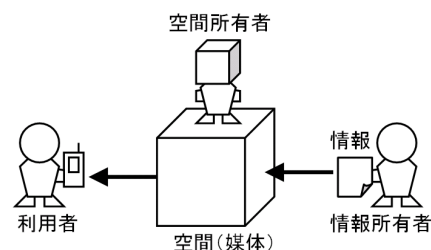


図1 情報が媒体を経由して利用者に伝達する過程

階層構造で各節点到権利者が存在する点は、ファイル管理のフォルダ構造や、情報検索やナビゲーションのための空間ハイパーメディアと類似している[10]。しかし、現在いる節点(フォルダや空間)の情報しか見れない場合が多く、本稿では現在位置を空間的に含む複数節点(情報空間)の情報を取得しうる点が異なる。また、親節点と子節点の間に空間的な包含関係がなく、ある節点の子節点同士の一部が空間的に重なることもない。

3.2 モデル概要

本モデルは図2のように、実世界に近い側からユーザ、情報オブジェクトを置く情報空間の階層構造モデル、情報空間に置くことで利用者がアクセスする情報オブジェクトという三種類のオブジェクトで構成される。ユーザには、情報空間に情報オブジェクトを排他的に置く空間提供者、情報オブジェクトを有する情報提供者、情報空間や情報オブジェクトにアクセスする利用者という三種類の役割がある。図2の例では、ユーザ uA は情報 iA と $owner$ 関係で結ばれ、 iA の情報所有者である。固定端末からアクセスし位置入力していないため、情報空間モデルにアクセスできず、所有する情報以外は取得できない。ユーザ uB は情報空間 sB と $owner$ 関係で結ばれ、 sB の空間所有者である。ユーザ uC は何も所有せず利用者である。携帯

端末からアクセスし、現在位置を含む空間 sA から情報 iE 、空間 sC から情報 iD 、空間 sD から情報 iC を取得しうる。また、空間的に包含関係がある情報空間は *subspace* 関係で結ばれる。

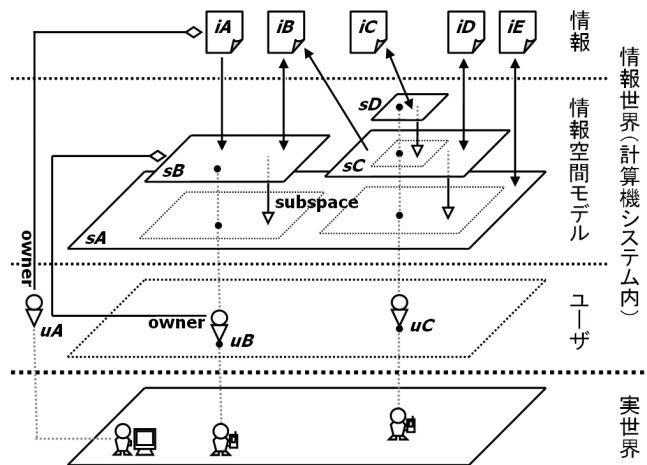


図2 情報世界の構成とオブジェクト間の関係

空間提供者が情報空間に他者の情報オブジェクトを置いたり、情報提供者が情報オブジェクトを他者の情報空間に置いたり勝手にはできず、両者の意図が合う必要がある。よって、情報提供者は情報オブジェクトを提供可能な情報空間の条件を、空間提供者は情報空間を提供可能な情報オブジェクトの条件を記述でき、図3の(i)(ii)に相当し、本稿では提供制御と呼ぶ。相手への提供制御を予め記述しておけば、互いに条件を満たす情報空間と情報オブジェクトの組をシステムが有効にし、対応する実空間で情報オブジェクトにアクセス可能になる。

情報空間に置かれている情報オブジェクトを取得するには、対応する実空間にまず行く必要がある。情報空間へのアクセス過程で、利用者はアクセス要求する情報空間の条件を、空間提供者は情報空間にアクセス可能な利用者の条件を記述でき、図4の(iii)(iv)に相当する。情報オブジェクトへのアクセス過程で、利用者はアクセス要求する情報オブジェクトの条件を、情報提供者は情報オブジェクトにアクセス可能な利用者の条件を記述でき、図5の(v)(vi)に相当する。本稿では(iii)と(v)をアクセス要求制御(iv)と(vi)をアクセス制御と呼ぶ。

3.3 オブジェクト

本稿で提案するモデルを構成するオブジェクトは、情報空間、情報オブジェクト、ユーザ・オブジェクトの三種類である。

3.3.1 情報空間

本モデルにおいて、情報空間を次のように表現する。

$$space = (sid, data, owner, term, acl, icl, attrs, subspaces)$$

ここで、*sid* は識別子、*data* は占有領域の空間データ、*owner* は空間所有者のユーザID、*term* は *owner* が権利を有する期間、*acl* は利用者に対するアクセス制御条件、*icl* は情報オブジェクトに対する提供制御条件である。*attr(tribute)s* は動的な属性群、*subspaces* は子空間リストであり、次のように表す。

$$attr(tribute)s = (count, time, \dots)$$

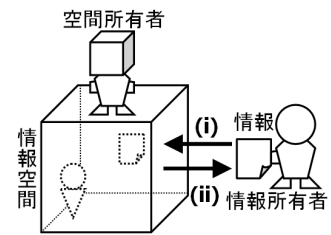


図3 情報空間と情報オブジェクト間の制御

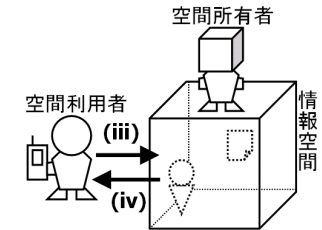


図4 情報空間と利用者間の制御

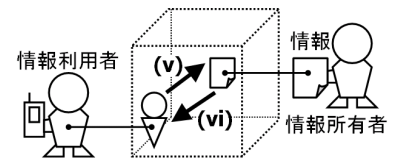


図5 情報オブジェクトと利用者間の制御

$$subspace = (sid, data, owner, term, inherit)$$

ここで、*count* はアクセス数、*time* は累計アクセス時間、*inherit* は子空間への制御条件の継承タイプである。

3.3.2 情報オブジェクト

本モデルにおいて、情報オブジェクトを次のように表現する。

$$info = (iid, data, owner, location, date, acl, icl, attrs)$$

ここで、*iid* は識別子、*data* は情報の内容データ、*owner* は情報所有者のユーザID、*location* は作成された位置(測位装置を持たない端末などで作成された場合は *null* 値)、*date* は作成された日時、*acl* は利用者に対するアクセス制御条件、*icl* は情報空間に対する提供制御条件、*attr(tribute)s* は動的な属性群である。また、情報の内容データは次のように表す。

$$data = (content, category, title, abstract, keywords)$$

ここで、*content* は Web ページや動画などの内容物であり、*category* はシステムが定めたカテゴリー集合から選択する。

3.3.3 ユーザ・オブジェクト

本モデルにおいて、ユーザ・オブジェクトを次のように表す。

$$user = (uid, profile, location, properties, arcl, ah)$$

ここで、*uid* は識別子、*profile* は個人情報、*location* は現在位置(または *null* 値)、*properties* は所有するオブジェクトのIDリスト、*arcl* は情報空間および情報オブジェクトに対するアクセス要求制御条件、*ah* は情報空間や情報オブジェクトへのアクセス履歴である。また、個人情報は次のように表す。

$$profile = (sex, birth, occupation, address, language, \dots)$$

3.4 制御記述

空間提供者, 情報提供者, 利用者はそれぞれ, 他の二者に対する意図を制御として記述する. 情報空間と情報オブジェクトの間の制御 (図 3), 情報空間と利用者との間の制御 (図 4), 情報オブジェクトと利用者との間の制御 (図 5) がある. 以降の説明のため, ある時刻に情報世界を構成する情報空間の全体集合を $S_a(u)$, 情報オブジェクトの全体集合を $I_a(u)$ とおいておく.

3.4.1 情報オブジェクトへの提供制御

図 3 (i) の情報オブジェクトへの提供制御 (*info.icl*) は, ある情報オブジェクトを提供可能な期間 *term* と情報空間の集合 $S_t(\text{target}) (\subseteq S_a)$ の組 $ic = (term, S_t)$ のリストである. 実際には, 「ある条件のユーザが有する, ある条件の情報空間に, ある期間中のみ置く」と情報提供者 (*info.owner*) が記述し, 意図に反する情報空間に置かれることを防ぎ, 置きたい情報空間の条件を空間提供者に伝える. ある時刻 *time* に, ある情報オブジェクト $i (\in I_a)$ を提供可能な情報空間の集合 $S_{\leftarrow i} (\subseteq S_a)$ は,

$$S_{\leftarrow i} = \{s \in S_a \mid s \in ic.S_t, time \in ic.term, \forall ic \in i.icl\}$$

と表せ, 情報空間 i から情報オブジェクト $s (\in S_{\leftarrow i})$ にリンクが張られる (図 6). 但し, リンク先は要求時に特定される.

3.4.2 情報空間への提供制御

図 3 (ii) の情報空間への提供制御 (*space.icl*) は, ある情報空間を提供可能な期間 *term* と情報オブジェクト集合 $I_t (\subseteq I_a)$ の組 $ic = (term, I_t)$ のリストである. 実際には, 「ある条件のユーザが有する, ある条件の情報オブジェクトを, ある期間中のみ置く」と空間提供者 (*space.owner*) が記述し, 意図に反する情報オブジェクトが置かれるのを防ぎ, 置いて欲しい情報オブジェクトの条件を伝える. ある時刻に, ある情報空間 $s (\in S_a)$ を提供可能な情報オブジェクト集合 $I_{\leftarrow s} (\subseteq I_a)$ は,

$$I_{\leftarrow s} = \{i \in I_a \mid i \in ic.I_t, time \in ic.term, \forall ic \in s.icl\}$$

と表せ, 情報空間 s から情報オブジェクト $i (\in I_{\leftarrow s})$ にリンクが張られる (図 7). 但し, リンク先は要求時に特定される.

図 6 では情報空間から情報オブジェクトへリンクがなく, 空間提供者がその情報オブジェクトへの空間提供を認めていない. 図 7 では情報オブジェクトから情報空間へリンクがなく, 情報提供者が情報空間への情報提供を認めていない. 図 8 のように両方向にリンクがある組だけが有効となる.

3.4.3 情報空間へのアクセス制御

図 4 (iv) の利用者に対する情報空間へのアクセス制御 (*space.acl*) は, ある情報空間にアクセス可能な期間 *term* と利用者の条件 U_t の組 $ac = (term, U_t)$ のリストである. 例えば, 「毎年 1 月中, 20 歳以上の学生だけアクセス可」などと空間提供者 (*space.owner*) が記述する. ある情報空間のアクセス制御条件を満たさない利用者は, 対応する実空間に実際に行っても, 置かれている情報オブジェクトにアクセスできない.

3.4.4 情報オブジェクトへのアクセス制御

図 5 (vi) の利用者に対する情報オブジェクトへのアクセス制御 (*info.acl*) は, ある情報オブジェクトにアクセス可能な期間 *term* と利用者の条件 U_t の組 $ac = (term, U_t)$ のリスト

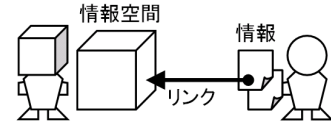


図 6 情報オブジェクトから情報空間へ方向にリンク

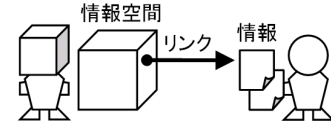


図 7 情報空間から情報オブジェクトへ方向にリンク

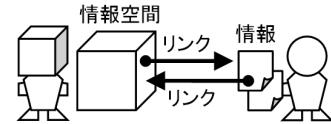


図 8 情報空間と情報オブジェクト間に両方向にリンク

であり, 情報提供者 (*info.owner*) が記述する. また, 情報提供者は情報オブジェクトを置くことが可能な情報空間の条件 (*info.icl*) も記述でき, 合わせて「ある期間中に, ある実空間にきた, ある条件の利用者のみアクセス可」というアクセス制御を記述できることになる. ある情報オブジェクトのアクセス制御条件を満たさない利用者は, 置かれている情報空間にアクセスできても, その情報オブジェクトにはアクセスできない.

3.4.5 利用者によるアクセス要求制御

図 4 (iii) および図 5 (v) の利用者によるアクセス要求制御 (*user.arcl*) は, アクセス要求したい期間 *term*, オブジェクトの条件 $O_t (S_t \text{ または } I_t)$, 開示する個人情報の項目群 U_{open} の組 $arc = (term, O_t, U_{open})$ のリストである. 実際には, 「ある期間中に, ある条件のオブジェクト (情報空間あるいは情報オブジェクト) に対して, 個人情報のある項目群を開示してアクセス要求」と利用者 (*user*) が記述する. 例えば, 「利用率が高い情報空間にだけ, 全てを開示してアクセス要求」「アクセス可能期間の開始日の直後かつ男性限定の情報にだけ, 性別だけ開示してアクセス要求」などと記述できる. これにより, あるユーザがいる位置で本来アクセス可能な情報空間や情報オブジェクトを, 利用者自身が記述した条件でフィルタリングでき, ユーザにとって不要な情報空間にアクセスしたり, 情報オブジェクトがモバイル端末に提示されたりすることはない.

3.5 情報空間の親子関係

情報空間 (*space*) の所有者は, 子空間 (*space.subspace*) の占有する領域 *data*, 所有者 *owner*, 権利を与える期間 *term* および制御の継承タイプ $inherit = (type_{acl}, type_{icl})$ を指定できる. 但し, 子空間は $subspace.data \subset space.data$ かつ $subspace.term \subset space.term$ を満たす. また, *type* には, 子空間に認める記述権の大きい順に *over*, *free*, *and* がある.

over: 自由な記述を子空間に認め, 自空間の制御を上書き
free: 自由な記述を子空間に認めるが, 自空間の制御は堅持
and: 自空間で有効な制御の部分条件のみ子空間は記述可.
 但し, 実際には, 直上だけでなく全ての親空間の影響を受ける.

ある情報空間のある位置で有効な制御 cl_v と、その位置を含む子空間への有効な継承タイプ $type_v^c$ を求める。この情報空間に記述されている制御を cl 、記述されている子空間への継承タイプを $type^c$ とする。親空間がない（根節点の）とき、

if $type^c$ is *over*, then $cl_v = \phi$, else $cl_v = cl$;
 $type_v^c = type^c$;

この情報空間が親空間を持つとき、親空間で有効な制御を cl_v^p 、親空間からの有効な継承タイプを $type_v^p$ とすると、

if $type^c$ is *over*, then $cl_v = cl_v^p$;
 else if $type_v^p$ is *over* or *free*, then $cl_v = cl$;
 else if $type_v^p$ is *and*, then $cl_v = cl_v^p \wedge cl$;
 if $type^c < type_v^p$, then $type_v^c = type^c$, else $type_v^c = type_v^p$;

以上をまとめたものが表 2 である。

表 2 ある空間で有効な制御 cl_v と子空間への有効な継承タイプ $type_v^c$

子 の空 間	親空間からの有効な継承 $type_v^p$				
	—	<i>over</i>	<i>free</i>	<i>and</i>	
継 承 へ	—	$cl / \text{—}$	$cl / \text{—}$	$cl / \text{—}$	$cl_v^p \wedge cl / \text{—}$
$type^c$	<i>over</i>	ϕ / over	cl_v^p / over	cl_v^p / free	cl_v^p / and
	<i>free</i>	cl / free	cl / free	cl / free	$cl_v^p \wedge cl / \text{and}$
	<i>and</i>	cl / and	cl / and	cl / and	$cl_v^p \wedge cl / \text{and}$

4. システム動作

本システムは、利用者の取得要求に対する動作と、提供者のオーサリングに対する動作を行う。システム内の情報空間の全集合を $S_{a(u)}$ 、情報オブジェクトの全集合を $I_{a(u)}$ とおいておく。

4.1 利用者に対する動作

ある利用者 u が、ある時刻 now に、ある地理的位置 $loc(ation)$ からシステムにアクセスし、その位置を内に含む情報空間に置かれている情報オブジェクトにアクセスする過程のシステム動作を順に示す。まず、現在位置を含む情報空間にアクセスする。

1. システムによる情報空間へのアクセス制御：

ある位置 loc ($\neq null$) にいる利用者がアクセス要求可能な情報空間の集合 S_{loc} ($\in S_a$) は現在位置を含むものに限られ、

$$S_{loc} = \{s \in S_a \mid u.loc \in s.data\}$$

と表せる。但し、実際には全ての情報空間を条件照合するのではなく、空間モデルの根節点から葉節点まで現在位置を含む情報空間を辿りながら、制御継承タイプも反映していく。また、測位装置のない端末や位置情報を開示していない ($u.loc = null$) 場合は $S_{loc} \equiv \phi$ となり、アクセス要求可能な情報空間はない。

2. 利用者による情報空間へのアクセス要求制御：

利用者自身が記述した条件でフィルタリングし、ある時刻に実際にアクセス要求する情報空間の集合 $S_{\leftarrow u}$ ($\in S_{loc}$) は、

$$S_{\leftarrow u} = \{s \in S_{loc} \mid s \in rc.S_t, now \in rc.term, \forall rc \in u.arclS\}$$

3. 空間提供者による情報空間へのアクセス制御：

利用者がアクセス要求した情報空間のアクセス制御条件を満たすかを判定し、許可される情報空間の集合 $S_{\rightarrow u}$ ($\in S_{\leftarrow u}$) は、

$$S_{\rightarrow u} = \{s \in S_{\leftarrow u} \mid u \in ac.U_t, now \in ac.term, \forall ac \in s.acl\}$$

次に、情報空間に置かれている情報オブジェクトを求める。

4. 空間提供者による情報空間への提供制御：

利用者がアクセスしている情報空間 s ($\in S_{\rightarrow u}$) に置くことが可能な情報オブジェクトの集合 $I_{\leftarrow s}$ ($\in I_a$) は、

$$I_{\leftarrow s} = \{i \in I_a \mid i \in ic.I_t, now \in ic.term, \forall ic \in s.icl\}$$

5. 情報提供者による情報オブジェクトへの提供制御：

利用者がアクセスしている情報空間と互いに条件を満たし実際に置かれている情報オブジェクト集合 $I_{\rightarrow s}$ ($\subseteq I_{\leftarrow s}$) は、

$$I_{\rightarrow s} = \{i \in I_{\leftarrow s} \mid s \in ic.S_t, now \in ic.term, \forall ic \in i.icl\}$$

最後に、ユーザの現在位置を含み、アクセス中の情報空間に置かれている情報オブジェクトにアクセスする。

6. 利用者による情報オブジェクトへのアクセス要求制御：

利用者自身が記述した条件でフィルタリングし、実際にアクセス要求する情報オブジェクト集合 $I_{\leftarrow u}$ ($\in I_{\rightarrow s}$) は、

$$I_{\leftarrow u} = \{i \in I_{\rightarrow s} \mid i \in rc.I_t, now \in rc.term, \forall rc \in u.arclI\}$$

7. 情報提供者による情報オブジェクトへのアクセス制御：

アクセス要求した情報オブジェクトのアクセス制御条件を満たし、許可される情報オブジェクト集合 $I_{\rightarrow u}$ ($\in I_{\leftarrow u}$) は、

$$I_{\rightarrow u} = \{i \in I_{\leftarrow u} \mid u \in ac.U_t, now \in ac.term, \forall ac \in i.acl\}$$

と表せ、ある利用者が、ある時刻に、ある位置で取得要求したとき、システムが提示する情報オブジェクトの集合である。

4.2 提供者に対する動作

提供者としてシステムにアクセスすると、所有するオブジェクトをオーサリングできる。ユーザ u が所有する情報空間の集合 S_{prop} は $u.properties.spaces$ 、情報オブジェクトの集合 I_{prop} は $u.properties.infos$ である。所有する情報空間 s ($\in S_{prop}$) を選択すると (c)、両方向にリンクする情報オブジェクト集合 $I_{\leftrightarrow s}(a)$ 、一方向にリンクされる情報オブジェクト集合 $I_{\rightarrow s}(b)$ 、一方向にリンクする情報オブジェクト集合 $I_{\leftarrow s}(d)$ 、子空間リスト (e) が図 9 のように提示され、次のように表せる。

$$I_{\rightarrow s} = \{i \in I_a \mid s \in ic.S_t, now < ic.term.to, \forall ic \in i.icl\}$$

$$I_{\leftarrow s} = \{i \in I_a \mid i \in ic.I_t, now < ic.term.to, \forall ic \in s.icl\}$$

$$I_{\leftrightarrow s} = \{i \in I_{\rightarrow s} \mid i \in ic.I_t, now < ic.term.to, \forall ic \in s.icl\}$$

$$= \{i \in I_{\leftarrow s} \mid s \in ic.S_t, now < ic.term.to, \forall ic \in i.icl\}$$

$$I_{\rightarrow s} = I_{\rightarrow s} - I_{s \rightarrow}$$

$$I_{\leftarrow s} = I_{\leftarrow s} - I_{s \leftarrow}$$

選択した情報空間は、一方向にリンクする情報オブジェクトの提供制御条件を満たしておらず、条件合致度の高い順に提示することで、情報空間をどう改善すれば両方向にリンクされるかが分かる。また、情報空間に一方向にリンクする情報オブジェクトは、情報空間の提供制御条件を満たしておらず、条件合致度の高い順に提示することで、情報空間への提供制御条件をどう緩和すれば両方向にリンクされるかが分かる。

所有する情報オブジェクト i ($\in I_{prop}$) を選択すると (h) , 両方向リンクする情報空間の集合 $S_{\rightarrow i}(f)$, 一方方向にリンクされる情報空間の集合 $S_{\leftarrow i}(g)$, 一方方向にリンクする情報空間の集合 $S_{\leftrightarrow i}(i)$ が図 10 のように提示され , 次のように表せる .

$$S_{\rightarrow i} = \{s \in S_a \mid i \in ic.I_t, now < ic.term.to, \forall ic \in s.icl\}$$

$$S_{\leftarrow i} = \{s \in S_a \mid s \in ic.S_t, now < ic.term.to, \forall ic \in i.icl\}$$

$$S_{\leftrightarrow i} = \{s \in S_{\rightarrow i} \mid s \in ic.S_t, now < ic.term.to, \forall ic \in i.icl\}$$

$$= \{s \in S_{\leftarrow i} \mid i \in ic.I_t, now < ic.term.to, \forall ic \in s.icl\}$$

$$S_{\leftrightarrow i} = S_{\rightarrow i} - S_{\leftarrow i}$$

$$S_{\leftrightarrow i} = S_{\leftarrow i} - S_{\rightarrow i}$$

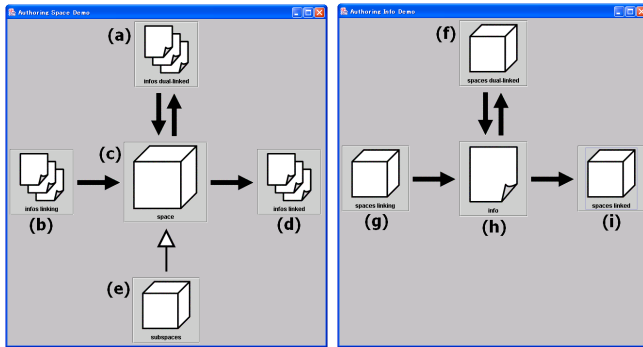


図 9 空間オーサリング画面

図 10 情報オーサリング画面

5. 記述言語

本稿で提案した制御モデルのオブジェクトを記述するための XML ベース記述言語 SAICL (*Spatial Access and Install Control Language*) の設計を行った . 記述例を示す .

5.1 記述例 1 : ショッピングモールと競合店

二階建ての店舗を二軒持つショッピングモールとその競合店からなる実世界 (図 11) の記述を行う . ショッピングモール *MallA* の所有者はユーザ uA で , その内部空間である店舗 *ShopC* をユーザ uC に , 店舗 *ShopD* をユーザ uD に貸している . 競合店 *ShopB* の所有者はユーザ uB である .

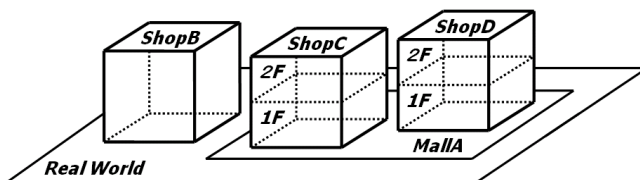


図 11 二階建て店舗を二軒持つモールと競合店からなる実世界

システム構築者 *system* は , 実空間 *MallA* , *ShopB* に対応する情報空間に所有者 uA , uB を設定し , 制御記述の全権利を与えるため , 所有者への継承タイプを *over* と記述する .

```
<space id="root" data="InfoWorld" owner="system">
  <subspaces>
    <subspace id="sA" data="MallA" owner="uA" inherit-i="over"/>
    <subspace id="sB" data="ShopB" owner="uB" inherit-i="over"/>
  </subspaces></space>
```

モール所有者 uA は , 店舗 *ShopC* , *ShopD* に対応する情報空間に貸借者 uC , uD を設定する . また , 情報 *InfoA* をモール全体に置くため , *MallA* には *InfoA* へ , *InfoA* には *MallA* への提供を記述し , *MallA* に記述した提供制御を守りつつ , 貸借者が自由に記述できるように継承タイプを *free* にする .

```
<space id="sA" data="MallA" owner="uA">
  <icl><ic><anyTerm /><info id="infoA" /></ic></icl>
  <subspaces>
    <subspace id="sC" data="ShopC" owner="uC" inherit-i="f" />
    <subspace id="sD" data="ShopD" owner="uD" inherit-i="f" />
  </subspaces></space>
<info id="iA" owner="uA">
  <data><content src="InfoA" /></data>
  <icl><ic><anyTerm /><space id="sA" /></ic></icl></info>
```

モール内店舗 *C* の貸借者 uC は , 1 階 *ShopC1* には責任者 $uC1$ を , 2 階 *ShopC2* には責任者 $uC2$ を設定する . また , 情報 *InfoC* を *ShopC* 全体に置くため , *ShopC* には *InfoC* へ , *InfoC* には *ShopC* への提供を記述をする . さらに , 1 階は *ShopC* に記述した提供制御よりも緩い制御を記述できないように , つまり , *InfoC* 以外の情報を置けないように , 継承タイプを *and* にする . 一方 , 2 階は責任者 $uC2$ に完全に委ね , *InfoC* が置かれなくても良いので , 継承タイプを *over* にする .

```
<space id="sC" data="ShopC" owner="uC">
  <icl><ic><anyTerm /><info id="ic" /></ic></icl>
  <subspaces>
    <subspace id="sC1" data="ShopC1" owner="uC1" inherit-i="a" />
    <subspace id="sC2" data="ShopC2" owner="uC2" inherit-i="o" />
  </subspaces></space>
<info id="iC" owner="uC">
  <data><content src="InfoC" /></data>
  <icl><ic><anyTerm /><space id="sC" /></ic></icl></info>
```

店舗 *C* の 1 階の責任者 $uC1$ は , 情報 *InfoC1* を置くための提供制御を記述するが , 親空間 *ShopC* からの有効な継承タイプが *and* であり , *InfoC* 以外の情報 *InfoC1* は置かれる .

```
<space id="sC1" data="ShopC1" owner="uC1">
  <icl><ic><anyTerm /><info id="ic1" /></ic></icl></space>
<info id="iC1" owner="uC1">
  <data><content src="InfoC1" /></data>
  <icl><ic><anyTerm /><space id="sC1" /></ic></icl></info>
```

同様に , 店舗 *C* の 2 階の責任者 $uC2$ は , 情報 *InfoC2* を置くための提供制御を記述するが , こちらは実際に置かれる .

```
<space id="sC2" data="ShopC2" owner="uC2">
  <icl><ic><anyTerm /><info id="ic2" /></ic></icl></space>
<info id="iC2" owner="uC2">
  <data><content src="InfoC2" /></data>
  <icl><ic><anyTerm /><space id="sC2" /></ic></icl></info>
```

モール内店舗 *D* の貸借者 uD は , 全体に情報 *InfoD* を , 1 階に情報 *InfoD1* を , 2 階に情報 *InfoD2* を置くよう記述する . 店舗 *C* と異なり , 貸借者自身が 1 階と 2 階の責任者である .

```
<space id="sD" data="ShopD" owner="uD">
  <subspaces>
    <subspace id="sD1" data="ShopD1" owner="uD" inherit-i="f" />
    <subspace id="sD2" data="ShopD2" owner="uD" inherit-i="f" />
  </subspaces></space>
<space id="sD1" data="ShopD1" owner="uD">
  <icl><ic><anyTerm /><info id="iD1" /></ic></icl></space>
<space id="sD2" data="ShopD2" owner="uD">
  <icl><ic><anyTerm /><info id="iD2" /></ic></icl></space>
<info id="iD1" owner="uD">
  <data><content src="InfoD1" /></data>
  <icl><ic><anyTerm /><space id="sD1" /></ic></icl></info>
<info id="iD2" owner="uD">
  <data><content src="InfoD2" /></data>
  <icl><ic><anyTerm /><space id="sD2" /></ic></icl></info>
```

競合店 B の所有者 uB は、情報 $InfoB$ を $ShopB$ 全体に置くと同時に、ショッピングモール $MallA$ にも置こうとする。しかし、 $MallA$ の提供制御により、 $InfoA$ でない、モールの意図に反する競合店の情報 $InfoB$ が置かれることはない。

```
<space id="sB" data="ShopB" owner="uB">
  <icl><ic><anyTerm /><info id="iB" /></ic></icl></space>
  <info id="iB" owner="uB">
    <data><content src="InfoB" /></data>
    <icl><ic><anyTerm /><space id="sA" /></ic></icl>
    <icl><ic><anyTerm /><space id="sB" /></ic></icl></info>
```

情報世界は図 12 のようになり、各空間で取得可能な情報は、

- 店舗 C の 1 階: iA, iC ● 店舗 D の 1 階: $iA, iD, iD1$
- 店舗 C の 2 階: $iA, iC2$ ● 店舗 D の 2 階: $iA, iD, iD2$
- 店舗以外のモール内: iA ● 店舗 B: iB
- モールと店舗 B 以外: ϕ

5.2 記述例 2: 情報の空間移動

情報空間 sA, sB と情報オブジェクト iC があり、 iC が置かれる空間が 1 時間おきに变化する例である。 sA は常に、 sB は午前中 iC を受け入れ、 iC は 9-10 時、11-12 時は sA に、10-11 時、12-13 時は sB に提供する。結果、図 13 のようになる。

```
<saicl>
  <space id="root" data="InfoWorld" owner="system">
    <subspaces><subspace id="sA" data="InfoSpaceA" owner="uA" />
      <subspace id="sB" data="InfoSpaceB" owner="uB" />
    </subspaces></space>
    <space id="sA" owner="uA">
      <icl><ic><anyTerm /><anyInfo /></ic></icl></space>
    <space id="sB" owner="uB">
      <icl><ic><term from-to="0:00-12:00" /><info id="iC" /></ic>
    </icl></space>
    <info id="infoC" owner="userC">
      <icl><ic><term from-to="9:00-10:00" />
        <term from-to="11:00-12:00" /><space id="sA" /></ic>
        <ic><term from-to="10:00-11:00" />
          <term from-to="12:00-13:00" /><space id="sB" /></ic>
      </icl></info>
    <user id="uA"><properties><space id="sA" /></properties></user>
    <user id="uB"><properties><space id="sB" /></properties></user>
    <user id="uC"><properties><info id="iC" /></properties></user>
  </saicl>
```

6. おわりに

本稿では、情報提供者はデジタル情報を追加したい実空間 (対応する情報空間) の条件を、空間提供者は実空間に追加して欲しいデジタル情報の条件を記述し、互いの条件を満たす組だけをシステムが有効にすることで、実空間の意図に反するデジタル情報は追加されず、実空間で行われている物理的なサービスと追加されるデジタル情報との連携を可能にする、空間指向のコンテンツ提供・アクセス制御手法を提案した。また、ある個人情報の利用者が、ある時間帯、ある場所に来れば、ある情報にアクセス可能といったアクセス制御も記述可能になった。

今後の研究課題として、記述言語の改良、電車などの移動空間への対応、RFID などのオブジェクト ID の併用を考えている。

謝 辞

本研究の一部は、平成 15 年度科研費基盤研究 (A)(2)「モバイル環境におけるコンテンツのマルチモーダル検索・呈示と放送コンテンツ生成」(課題番号: 14208036, 代表: 田中克己) および 21 世紀 COE プログラム「知識社会基盤構築のための情報学拠点形成」によるもので、ここに記して謝意を表すものとする。

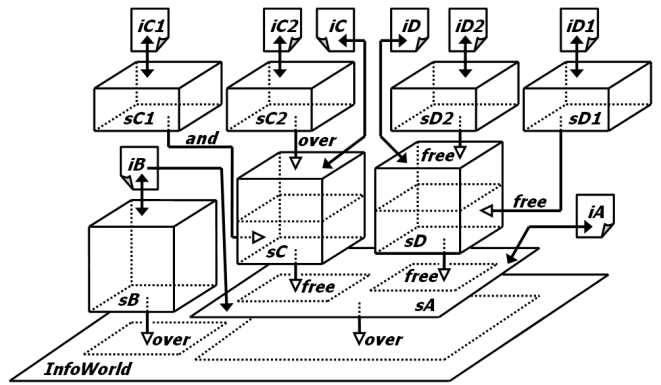


図 12 二階建て店舗を二軒持つモールと競合店からなる情報世界

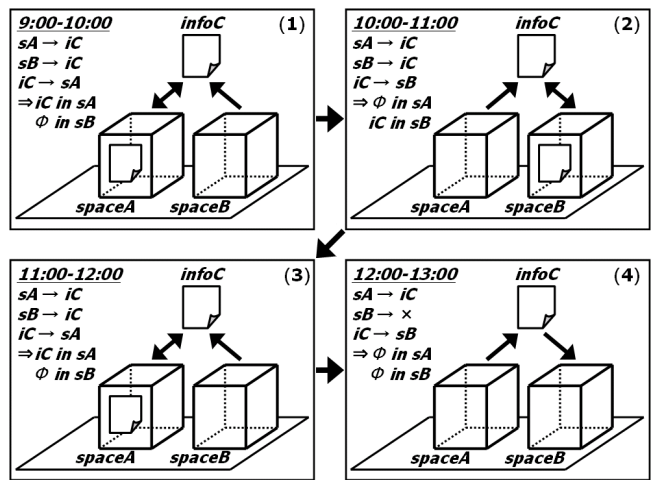


図 13 情報オブジェクトが置かれる情報空間が動的に変化

文 献

- [1] 角 康之, 江谷 為之, シドニー フェルス, ニコラ シモネ, 小林 薫, 間瀬 健二, "C-MAP: Context-aware な展示ガイドシステムの試作", 情報処理学会論文誌 Vol.39 No.10 pp.2866-2878(Oct.1998).
- [2] 上坂 大輔, 吉野 孝, 宗森 純, "NAMBA Explorer: PDA を用いたインフォーマル情報共有システム", DICOMO 2003
- [3] 森下 健, 中尾 恵, 垂水 浩幸, 上林 弥彦, "時空間限定オブジェクトシステム SpaceTag: プロトタイプシステムの設計と実装", 情報処理学会論文誌 Vol.41 No.10 pp.2689-2697(Oct.2000).
- [4] 一岡 義宏, 青木 輝勝, 安田 浩, "赤外線簡易放送型通信を用いた都市型コミュニティ支援システム", 電子情報通信学会論文誌 B Vol.J84-B No.7 pp.1299-1310(Jul.2001).
- [5] Takahashi, K., Miura, N., Yokoji, S., Shima, K., "Mobile Info Search: Information Integration for Location-Aware Computing", IPSJ Journal Vol.41 No.4 pp.1192-1201(Apr.2000).
- [6] 糸野 文洋, 本位田 真一, "モバイルアプリケーションのためのエージェントプラットフォーム MolFie", 電子情報通信学会論文誌 B Vol.J86-B No.3 pp.362-375(Mar.2003).
- [7] Geetanjali, S., Prasad, N., Roy H.C., "Access Control for Active Spaces", Proceedings of the 18th Annual Computer Security Applications Conference pp.343-352(Dec.2002).
- [8] 中西 健一, 松宮 健太, 徳田 英幸, "Area Based Access Control: 情報家電機器環境に適したセキュリティモデル", 情報処理学会 第 2 回情報家電コンピューティング研究グループ研究会 (Mar.2002).
- [9] 吉岡 信和, 田原 康之, 本位田 真一, "モバイルエージェントによる柔軟なコンテンツ流通を実現するアクティブコンテンツ", 情報処理学会論文誌: データベース Vol.44 No.SIG 18 pp.45-57(Dec.2003).
- [10] Kambayashi, Y., Konomi, S., Kagawa, O., Lee, S.-H., Winiwarter, W. and Hayase, M., "Database Support for Computer Supported Cooperative Work", In Proceedings of the International Aviation Symposium, October 1996, pp.161-176.