

# “デジタル寺院”：設計と開発へ向けて

藤田 茂<sup>1</sup> 樋地 正浩<sup>2</sup> 滝 雄太郎<sup>3</sup> 宮西 洋太郎<sup>4</sup> 角田 篤泰<sup>5</sup> 菅原 研次<sup>1</sup> 白鳥 則郎<sup>6</sup>

**概要**：IoT, CPS のみならず、多くの場面でサービスの根幹としてデジタル識別子 (DI) が利用されている。サービスが継続し、利用者がサービスを利用し続けている間、DI は管理されている。しかし、サービスが終了、利用者やサービスに紐づいたモノが変わる/消失すると DI が失われ、その関係を追跡することが困難になる。我々の提案しているデジタル寺院は、デジタル機器、データ (モノ) に付与された DI を始めとして、人 (ヒト) の DI, 事 (コト) の DI を永続的に保存する。デジタル寺院ではこれまでの情報システム以上に永続性を担保する必要がある。本稿では、分散環境上にデジタル寺院を構築し、これを永続的に自律維持するための設計開発について述べる。

## 1. はじめに

Cyber-physical System, CPS, Internet Of Things, IoT で利用される機器のデジタル識別子や、Cloud Computing で利用される人のデジタル識別子を元にして、対象を識別し、利用履歴を取得し、サービス向上や契約、課金が為されている。しかしながら、個別のサービス毎の履歴は保存されるが、利用者の死後あるいは装置の故障や置き換えに伴う DI の管理の必要性について、議論されていない。

我々は、DI の利用が終了した後、あるいは DI に関連するヒトの死亡やモノの消失に伴って失われてしまう DI と DI の繋がりを維持するための仕組みとして、2018 年 6 月に、“デジタル寺院” [1] 構想を発表した。

また、我々はこれまでにデジタル寺院構想を基に、ヒト、モノのみならず、ヒトとモノの関係 (コト) に明示的に DI を付与しデジタル寺院構想に基づき、モデルを構成し、基盤技術について議論してきた [2]。

情報処理学会誌では、2018 年 7 月に特集 [3-10] が生まれ、人間の死、葬儀や寺の仕組みが議論された。また、利用

者の死亡後のデータやアカウントの取り扱いについて議論された。この特集号では、人間の死に限定し、主にプライバシー面からの考察が為された。本稿で述べるようなデータの利用に関して、頑健性の高い情報システム構築を目指した議論ではない。

デジタルデータを永続的に保存しようとする試みは、物理的な永続性を基盤として文献 [11] などで行われている。しかし、DI とその関係を単にデータとして保存するのではなく、アクセスし、必要となれば更新、削除の必要があり、変更不能な媒体へデータを保存することでは、デジタル寺院の機能を実現できない。また、記録媒体 (文献 [11] ではクリスタルであり、いわゆる DVD, Blue-Ray Disc では、Millenniata 社の M-DISC が相当する) の読み取り装置が必要であり、記録媒体に長期にデータを保存することは可能だが、装置の長期に渡る利用可能性は示されていない。このため、デジタル寺院を特定のハードディスクあるいはソフトウェアに依存して構築するのではなく、定期的・永続的に構築を繰り返す仕組みをもつ必要がある。

多くの組織は永続的に機能を提供することが困難で、解散や倒産、散逸、分裂によって変容してしまう。このため、DI の保存を特定の法人のサービスとして維持することで、永続性という観点で懸念が残る。

また、法人の合併によって異なるサービスポリシーを持つ組織に個人情報に繋がる履歴や DI を保存することには、懸念がある。例えば、A 社の情報保護ポリシーを信頼してサービスを利用してきた後に、異なる情報保護ポリシーを持つ B 社に、A 社のサービスが買収された場合、顧客情報として履歴や DI が移動される可能性がある。

これら企業を念頭に置いた法人に対して、信徒と宗教の

<sup>1</sup> 千葉工業大学情報科学部  
Faculty of Information and Computer Science, Chiba Institute of Technology  
<sup>2</sup> 東北大学大学院経済学研究科  
Graduate School of Economics and Management/Faculty of Economics, Tohoku University  
<sup>3</sup> 千葉工業大学大学院情報科学部  
Graduate School of Information and Computer Science, Chiba Institute of Technology  
<sup>4</sup> 株式会社アイエスイーエム  
ISEM Inc.  
<sup>5</sup> 中央大学国際情報学部  
Faculty of Global Informatics, Chuo University  
<sup>6</sup> 中央大学研究開発機構  
Research and Development Initiative, Chuo University

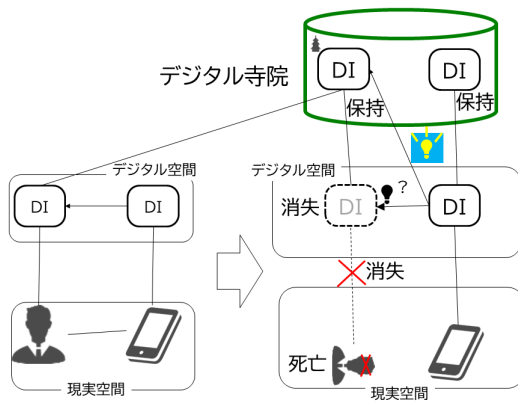


図 1 デジタル寺院のコンセプト

組み合わせからなる宗教法人は、分裂することはあっても、信徒らの相互扶助組織として永続性を保っている。

また、基盤となる建築物や土地について、伊勢神宮では式年遷宮によって、定期的（20年毎）に、正殿、社殿、伝舎、御装束神宝、宇治橋の再構築が行われる。このため、決して頑強とは言えない木造建築を主体としながらも、1500年を越える期間、一定の様式を保っている。この式年遷宮の考え方は、デジタル寺院構想でも同様である。

本稿では、デジタル寺院のモデル [2] について述べ、モノの消失/故障後、人の死後、サービスの終了後に、それらの関係を記録し、後世での利用を可能にするデジタル寺院の設計開発について述べる。

## 2. デジタル寺院のモデル

### 2.1 デジタル寺院のコンセプトとデジタル識別子

#### (1) デジタル寺院のコンセプト

デジタル寺院のコンセプトを図1に示す。デジタル寺院 [1] における DI は、実世界のさまざまな実体の属性の集合をサイバー空間内で保有する。DI が保有する実世界の實體は、人や組織（ヒトと総称する）、建物や自動車、ロボット、機械、IoT 機器、書類といった有形物、データやソフトウェア、暗号通貨といったサイバー空間内にのみ存在する無形物（これら有形物と無形物を合わせてモノと総称する）だけではなく、会議や講演、観光といった社会生活における活動（コトと総称する）と多岐にわたる。これらの実体に少なくとも一つの DI が対応付けられる。

デジタル空間内に存在する実体であっても、デジタル寺院が管理する対象は、それらの実体の DI であり、実体そのもの、すなわちデータやソフトウェア、ではない。このように実体の属性の集合である DI を管理対象とすることで「コト」のような活動も取り扱うことができる。有形物は、複数の部品から構成されることが一般的であり、この各部品に対応した DI が対応付けられることもある。

例えば、温度、湿度、照度を測定できる IoT 機器は、IoT 機器の DI と温度センサ、湿度センサ、照度センサのそれ

ぞれの DI が存在することになる。この時、IoT 機器の DI と各センサの DI の間に、「構成する」という関係が生じる。また、ある文書 A の中には、他の文書 X やデータ D の参照があることが多いが、この時にはある文書 A の DI から他の文書 X の DI とデータ D の DI の間に「参照する」という関係が生じる。組織は複数の構成員からなり、組織の活動規范文書を持つが、このように異なる構成要素からなる場合でも、同様に DI 間には関係性が存在することがある。この関係性も DI として表現する。この関係性を表現する DI と実体に対応する DI と区別する必要がある場合、関係性に対応する DI を関係 DI、実体に対応する DI を実体 DI と呼ぶことにする。

デジタル寺院は、この DI と DI 間の関係を所有者の委託を受けて保存、管理する。管理期間中に DI や DI 間の関係に変更が生じた際は、その変更を該当する DI や DI 間の関係に反映することで常に実体の変化に追従する。実体が失われた場合、デジタル寺院が管理している DI が削除されることはなく、実体が失われたことを示す情報が付与されるだけである。

現実空間の人とスマートフォンには、それぞれデジタル空間内でそれぞれに対応する DI が付与され、その関係、例えば人がスマートフォンを所有する、が与えられている。後に、この人が死亡するとこの人はもうデジタル空間に関わることがないため、この人に対応する DI も消失する。しかし、スマートフォンは故障しているわけではないので、そのまま放置され、そのスマートフォンに対応するデジタル空間の DI も存在したままになる。数年後、この放置されたスマートフォンが発見され、誰のスマートフォンであったかわからない状況が発生する。このスマートフォンに対応する DI は残っているので、この DI の所有している関係を元に所有者を探すことで誰のスマートフォンであったかが分かることが期待されるが、すでにスマートフォンを所有していた人が死亡し、その DI が消失しているため、結局、所有していた人を特定できない。もし、本提案のデジタル寺院に人とスマートフォンの DI を預け、それぞれの DI が保存されていれば、スマートフォンの DI の所有関係を元にデジタル寺院に預けられた人の DI に到達でき、その DI から誰の所有していたスマートフォンであるかやそのスマートフォンを所有していた人がすでに死亡していることを知ることができる。

#### (2) デジタル識別子

図2にデジタル識別子の例を示す。ヒトとして識別されるものは、個人と個人の集合である組織、企業、グループである。これは、いわゆる法人格に留まらずヒトの集合も含む。モノとして識別されるのは、実体のある現実空間のもの、および、デジタル空間上のデータ、プログラムである。コトは、イベントに対応し、DI の関係に対応する。

## 2.2 デジタル寺院の基本型モデル

提案するデジタル寺院の基本型モデルを図3に示す。デジタル寺院は、デジタル空間内に複数存在できる。デジタル寺院の必要要件を満たした運営管理組織がデジタル寺院を立ち上げ、DIの管理を行う。利用者は、その中から委託して良いと判断した任意のデジタル寺院を選択する。利用者は、選択したデジタル寺院(旦那寺に相当する)にDIの複製を預け、デジタル寺院がDIを管理する。利用者はひとつのデジタル寺院を継続的に利用することを想定している。利用者が複数のデジタル寺院を利用することを排除するものではないが、デジタル寺院維持のためのコスト負担が利用者にかかる。

現実空間にあるヒト、モノ、コトの中でDIがついているものは、デジタル空間上にDIが存在する。現実空間のすべてにDIがついていることを理想としているが、DIのついていないものも存在する。現実空間上のヒトには、人と法人が対応する。モノはデータと実体のあるものに対応する。コトはデジタル空間に記録された現実空間のイベントに対応する。ヒト、モノは現実空間から存在しなくなることがあり、コトはイベントの終了に伴って存在しなくなる。いずれの場合もデジタル寺院に預けられたDIは存続し続ける。

## 2.3 デジタル寺院のネットワーク型モデル

図4に提案するデジタル寺院のネットワーク型モデルを示す。単独の独立したデジタル寺院以外に、複数のデジタル寺院の間で互助のためのネットワークを構成する。利用者から見てデジタル寺院は単独の抽象的な存在である。一方、実装上は、DIの永続的な保存を行うために、デジタル寺院を実行する物理的なサーバ(クラウド、エッジコンピューティング)の破壊や停止からDIを守るために、複数のデジタル寺院でネットワークを構成して、互いのDI

を保存する。永続的なDIを目的とするデジタル寺院の利用者の多くは、この形態のデジタル寺院を選択すると想定している。これらのネットワークを構成するデジタル寺院は、図4の中で、グループAおよびグループBとして表現されている。

## 3. デジタル寺院の機能要件/非機能要件

デジタル寺院は、デジタル識別子の保存、更新、問い合わせへの応答を行う。また、保存、更新、問い合わせに対して、利用者の認証を行う。

デジタル寺院へのDI登録は、煩雑な作業である。また、DIの保存、更新によって思わぬプライバシーの漏洩に繋がることが想定される。さらに、ヒトのみならず、IoT、CPSを担う膨大な機器のDI、およびヒト、モノによって発生する膨大な事象(コト)の記録を人手で行うことは困難であると考えられる。

デジタル寺院は、相互に接続されることがあり、互いの認証を行う。デジタル寺院は、ネットワーク環境の変化に対して追従し、またネットワーク自体の構成に関与する。

災害時のようにネットワークのみならず、物理環境、社会環境が激変する環境化においても接続とネットワークを維持する仕組みを提案[12,13]しており、デジタル寺院でもこのNever Die Networkの考えを取り込む。

Suganumaらは、文献[14]において、マルチエージェントによる柔軟なエッジコンピューティングアーキテクチャを提案しており、自律的にネットワークを構成し、サービスを提供できることを示している。デジタル寺院でも同様に、マルチエージェントシステムによって、デジタル寺院そのものを構成し、またデジタル寺院への通信を行うネットワークと、デジタル寺院相互のネットワークをマルチエージェントシステムによって自律的に管理運営する。

## 4. デジタル寺院のマルチエージェントシステムによる自律構成

デジタル寺院を永続的に、ネットワーク環境や計算機環境の変化に追従して、自律的に維持管理するために、これまでに我々の提案してきた、マルチエージェントシステムによる分散処理システムの構成[15-18]を発展させる。

マルチエージェントシステムによる分散処理システムの概念とその応用システムについて、これまで文献[19-25]などで示してきた。

マルチエージェントシステムによる分散処理システムの構成では、リポジトリと呼ばれる部品庫とワークスペースと呼ばれる実行環境が存在し、利用者要求に応じて部品庫内で、ソフトウェア部品に相当するエージェントが自律的に組織構成を行い、ワークスペース上にインスタンスを生成して、利用者要求に対するサービスを提供した。

ワークスペース上でサービスを提供している分散処理シ

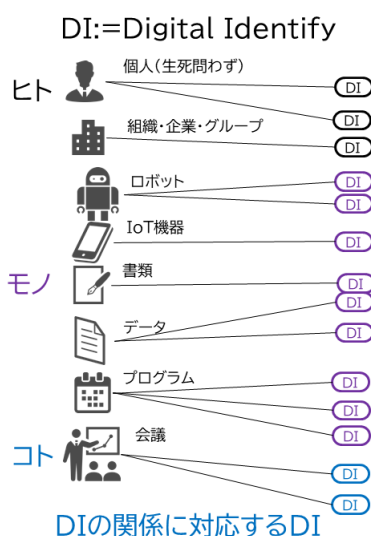


図2 デジタル識別子

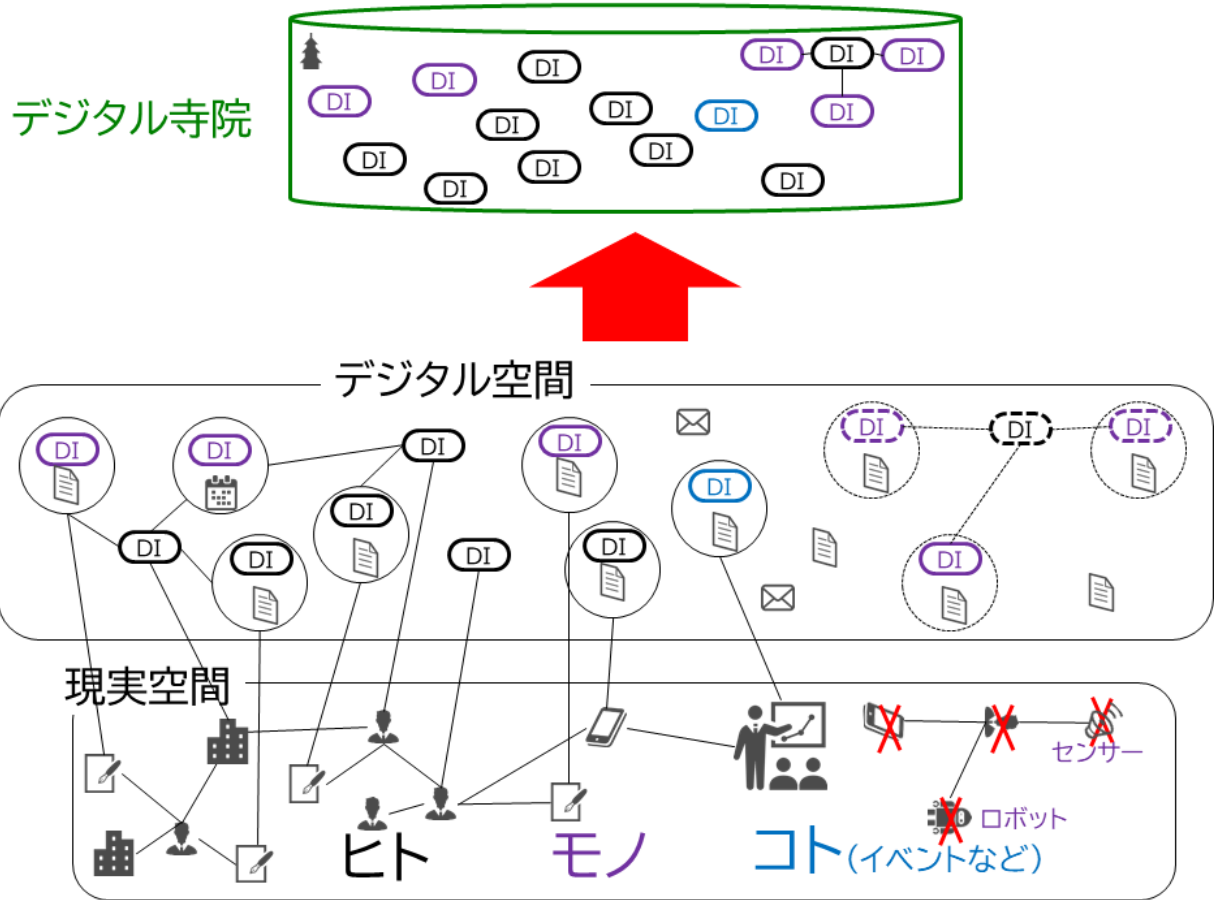


図 3 デジタル寺院の基本型モデル

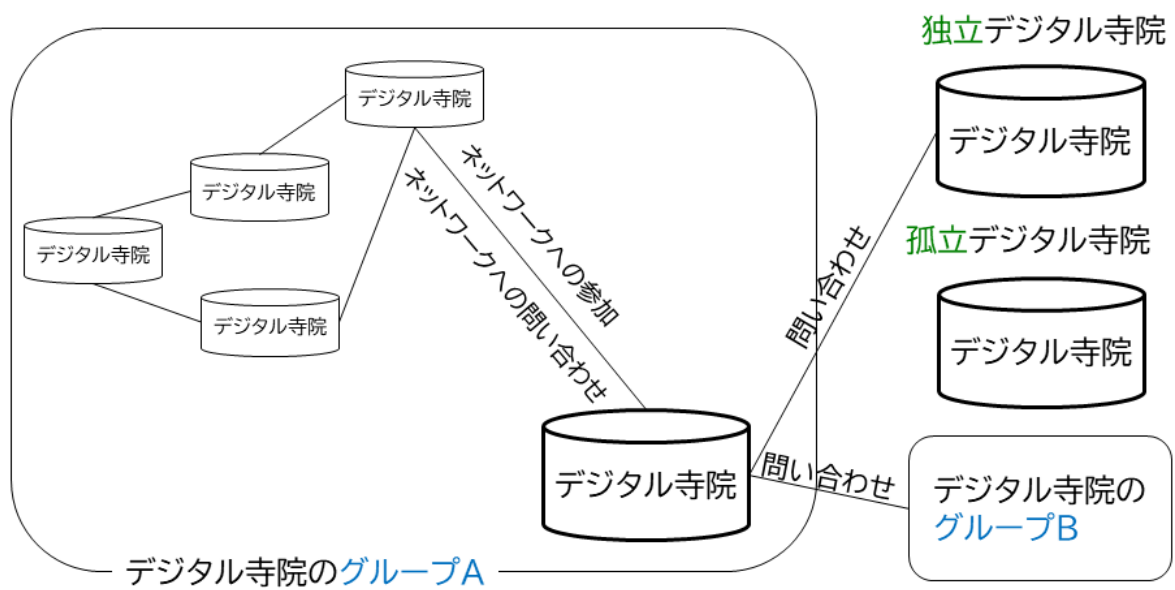


図 4 デジタル寺院のネットワーク型モデル

システムは、計算機環境、ネットワーク状況、利用者要求をモニタし、利用者要求を充足するべく、自律的な調整を行う。また、過大な変化が生じ、調整ではサービス維持が行えなくなった場合には、新たに、部品庫に対してサービス維持に必要なソフトウェア部品を要求し、分散処理システムの部品を交換する。

マルチエージェントシステムによる分散処理システムの構成では、このように、部品庫とワークスペースが想定されていたが、今回、デジタル寺院の設計にあたって、部品庫という特定のサービスに依存することは、永続性、頑健性の確保の点で好ましくない為、すべて同一の実行環境として、エージェントの実行環境として等価性の高いものとして再設計している。

図5に、マルチエージェントシステムによるデジタル寺院の構成（左側）と、新規にストレージを追加したことに対して、そのストレージを管理するエージェントを新規に追加し、デジタル寺院で利用可能なストレージを増加させた例を示す。

図5（左側）では、当初4つのエージェントによって、デジタル寺院が構成されている。このデジタル寺院へのDI登録の増加によって、デジタル寺院の利用可能なストレージの空き領域が減ったとする。この時、デジタル寺院から、利用者に対して、ストレージ容量の不足が伝えられる。ここで、利用者は自らのDIの記録保持に対して、一定の責を負っている。利用者間でデジタル寺院の存続に関しての合意を取る手法に関しては、稿を改めて述べる。

ストレージが購入され、デジタル寺院の稼働する装置あるいはCloud上の仮想マシンで利用可能なストレージが増設されると、必要に応じて新たにエージェントが生成され、デジタル寺院を構成するマルチエージェントの一部として組み込まれる（図5右側）。

実行環境間の通信を担う通信レイヤーとして、実装時にはIP層のみを想定していた。その後の研究によって、通信レイヤーについてNever-die Network [12, 13]を想定して再設計を行っている。また、同様の検討に基づいて文献 [14]では、マルチエージェントシステムに基づいて柔軟なネットワークをIoT, Edge Computingのために構成している。

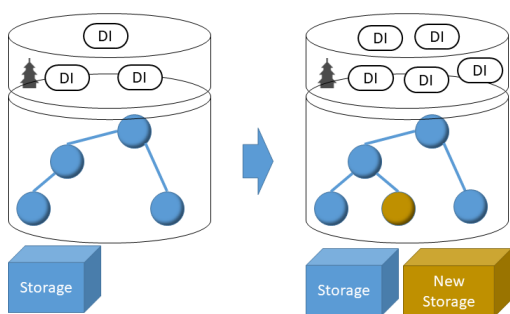


図5 マルチエージェントシステムによるデジタル寺院の構成とストレージ追加に対する自律的適応の例

## 5. デジタル寺院利用者とパーソナルエージェント

デジタル寺院へのDIの登録は、利用者が各個のデジタル寺院のポリシーを確認し、DIを登録し、デジタル寺院の維持管理に資源を提供しうると判断した後に行われる。この過程は、ヒトのみが実行可能である。しかし、デジタル寺院へ関連するDIの情報を登録する作業は、ヒト、モノ、コトのすべてにDIが付くと想定されるので、非常に煩雑な処理となる。

また、ヒトと対面する他のヒトとのコトをデジタル寺院へ登録する際には、他のヒトとの間で、デジタル寺院への登録に関して合意がある場合に、確度の高い情報として登録可能である。このデジタル寺院への登録に関しての合意プロトコルに基づいて、それぞれのヒトがデジタル寺院への登録動作を行うことはやはり煩雑な作業である。

これら煩雑な処理を軽減し、デジタル寺院の利用を円滑に行うために、個人個人に対応して、デジタル寺院へのDI登録、更新、問い合わせを自動的に代替して実行する、パーソナルエージェントを導入する。

我々は、これまでにパーソナルエージェントと分散処理システムについて、文献 [26-28]などで報告している。デジタル寺院を利用するパーソナルエージェントは、これらの研究を基に、効果的に個人化され個人に一对一に対応するエージェントとして設計開発している。

パーソナルエージェント、ヒトとデジタル寺院との関係を図6に示す。

ヒトAとヒトBが対面する際に、それぞれのパーソナルエージェントがそれぞれのヒトのDIを交換し、互いに属するデジタル寺院に確かに登録されていることを確認する。これをもって、対面しているヒトが確かにそのヒト本人であることを認証する。

次いで、対面した事実（コト）の記録に関して、合意すると、それぞれのパーソナルエージェントがコトエージェントA、コトエージェントBを生成し固有のDIを、それぞれのデジタル寺院へ登録する。

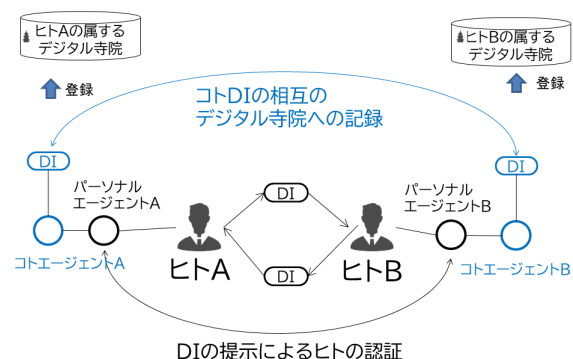


図6 パーソナルエージェント、ヒトとデジタル寺院

この図6で示した処理は、それぞれのパーソナルエージェントA,Bによって、自動的に実行され、ヒトA,Bが直接操作を行うことは無い。

このように、デジタル寺院の利用においては、個人に寄り添い、個人のデジタル寺院の利用と、他のデジタル寺院を利用する他人とのDI交換やDIの確認、それぞれのコトに対応するDIの生成と利用を、パーソナルエージェントが代行する。

## 6. エージェント

### 6.1 エージェントの構造

デジタル寺院を構成するエージェント、パーソナルエージェントとしてのエージェントも、どちらも、モデルとしてはソフトウェアエージェントである。エージェントの内部モデルを図7に示す。

エージェントは内部に“Agent Program”を保持する。このAgent Programは内部の“Interpreter”によって解釈実行される。エージェントは、Agent Programで宣言された“Desire”を実現するための計画(Plan)をAgent Programによって生成する。

エージェントは、外部環境(エージェント実行環境の状況、外部のセンサーを有する場合はセンサーからの入力、他のプログラムとのAPIを有する場合はAPIからの入力に相当する)を知覚(Perceptions)し、“Beliefs”と呼ばれるこのエージェントが外部をどのように把握しているかのメモリ空間へ展開する。この処理はエージェントにとっては(Agent Programからは)制御できない強制的な知覚である。

エージェントは他のエージェントとの間で、“Agent Communication Language”, ACLを通じて、通信を行う。他のエージェントからのACLはエージェント内部の“Message Buffer”へ一旦取り込まれ、Interpreterの動作タイミングに従って、Agent Programに基づいて、解釈されBeliefsの更新が行われる。

Agent Programの実行の結果、他のエージェントと通信を行うためには、ACLを他のエージェントへ送信する。Agent Programの実行の結果、APIを介して他のプログラムを利用したり、直接装置に接続されたエージェントの場合には、Actionを実行する。エージェントから見ると、ACLによる他のエージェントとの通信も、APIを介した他のプログラムの制御も等しくActionsである。

エージェントの内部には、論理的に時刻を刻む“Internal Clock”が存在する。Agent Programの記述によっては、指定された日時時刻の動作が求められることや、利用者からの依頼に基づいて特定の日付や時刻を認識する必要がある。また、他のエージェントからのメッセージ到達や、環境変化の知覚が無い場合でもエージェントが自律的に動作を開始する必要がある場合に使われる。このInternal Clockも

Perceptionsと同様にAgent Programからは制御することができない。

### 6.2 エージェントの通信

エージェント間の通信は、1) 通信の相手を特定するメッセージ送信、2) グループ内の同報メッセージ通信、3) 環境内の同報メッセージ通信に分けられる。形式的にはすべてのメッセージ通信が非同期通信である。また、メッセージにはTTLが存在し、受信されなかったメッセージは最終的に破棄される。

エージェント間通信プロトコルは、Agent Programの一部として定義される。Agent Programの中から、エージェント間通信プロトコルの利用を宣言し、そのエージェント間通信プロトコルの仕様に基づいた通信手順を、Interpreterが実行する。

### 6.3 エージェント実行環境

エージェントの実行環境は、特定のプログラミング言語やOSに依存しない形で定義される。この定義に従って作成された実行環境上のエージェントは互いに通信可能である。また、このエージェントからなるマルチエージェントシステムとして動作するデジタル寺院の環境もまた、特定のプログラミング言語やOSに依存せず、様々な環境間で互いに接続可能である。

### 6.4 エージェントプログラミング言語

エージェントは、エージェントプログラムによって動作を定義される。エージェントは、エージェントプログラムから新たに生成される場合がある。例えば、1) コトを識別するためのエージェントを生成する、2) 新しい実行環境が利用可能になった場合、デジタル寺院のデータの安全性を高めるために、自らのコピーを新しい実行環境上に生成す

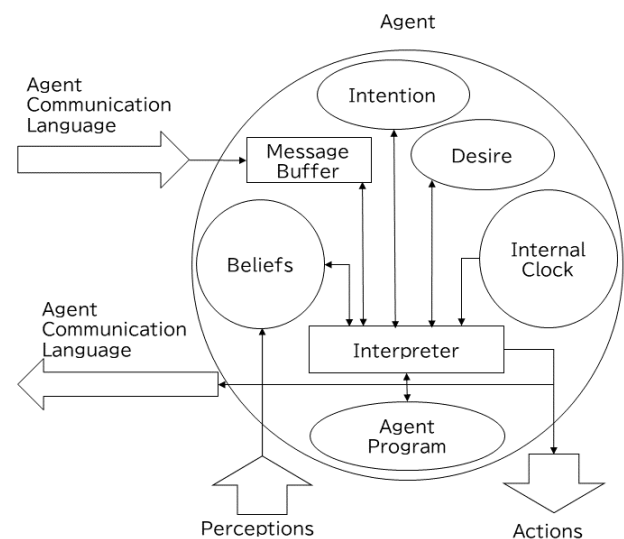


図7 エージェントの構造

る、などである。

エージェントもまたデジタル識別子 (DI) によって識別される対象である。デジタル寺院へ自らの DI を記録することが可能である。

エージェントは実行環境間を移動して動作を継続することが可能である。パーソナルエージェントもまたマルチエージェントシステムとして構成されるが、利用者固有の情報を持つ高いセキュリティを要求されるパーソナルエージェントの一部を構成するエージェントは、例えば利用者のスマートフォンの内部に存在する。そして利用者がスマートフォンを更新する際には、新たなスマートフォンに移動し、古いスマートフォン上には存在しないことが求められる (移動)。

エージェントプログラムの詳細については、稿を改めて述べる。

## 6.5 エージェントの下位モジュール

エージェントは、ACL を介して他のエージェントと通信を行うことで、多くの処理を実行する。しかし、実社会とのインタフェースは、API を介した他のプログラムとの通信である。このため、エージェントの実行環境では、エージェントに対して API を開放するプログラムが必要な場合がある。

エージェント (特にパーソナルエージェント) は、ビデオカメラやマイクロフォン、また他のセンサーを利用して、ヒトの知覚している情報を得る必要がある。このために実行環境によっては、下位モジュールとして、Deep Learning 等を用いた分類器が利用可能である必要がある。

## 7. デジタル寺院を構成する要素技術

3 節,4 節,5 節で述べた技術の他に、デジタル寺院開発のために、以下の項目の技術を導入し、実装時にこれを基に効果的に活用することを想定している。

(1) ユーザーインターフェース・問い合わせ言語と API

(2) 認証・セキュリティ

(a) 秘密分散・秘密計算

(b) タイムスタンプ

我々の研究グループでは、パーソナルエージェントによるユーザーインターフェースを構成するための研究 [26–30] を実施しており、これらの研究成果からのフィードバックを取り込む。

また、秘密分散・秘密計算 [31] を使った応用システムの研究 [32] や、文献 [31] では整数値のみであった計算を文字列へ拡張した研究 [33] を実施しており、問い合わせ言語の実装に際して、秘密分散によって保持されている複数の論理的なストレージにセキュアな問い合わせが可能である。これらは、デジタル寺院の構成要素技術の予備実験として捉えることが可能である。

デジタル寺院の API を定義し、外部へ公開することで、実装に依存しない複数のデジタル寺院のネットワークを構成することができる。デジタル寺院の地理的な分散を自律的に達成することで、災害時でのデータセンターへのアクセス不能への対処や、個人の PC/スマートフォンの紛失へ対応する。

セキュリティに関しては、我々を含む研究グループにおいて、文献 [34–41] にて予備実験を行っており、これらの知見も同様にデジタル寺院の設計開発に取り込む。

## 8. おわりに

現在、多くのデジタル識別子 (DI) が利活用されているが、それらを使ったサービス終了後あるいは DI の更新、破棄、問い合わせについて永続的に取り扱う仕組みとしての“デジタル寺院”の設計と開発にむけて、議論を行った。デジタル寺院とデジタル寺院のネットワークおよびパーソナルエージェントによって、DI の利活用とトレーサビリティ維持が利用者のコントロールの範囲で、装置の廃棄後あるいは、利用者の死後にも適切に実施されることが期待できる。

本稿では、デジタル寺院のモデルについて述べ、デジタル寺院に要求される要件を述べ、デジタル空間に蓄積され利用されるデジタル識別子 (DI) の保存管理運用を行う、頑健性の高い情報システム構築を目的として、マルチエージェントシステムによるデジタル寺院の設計開発と、デジタル寺院を効果的に利用するためのパーソナルエージェントの設計開発、またデジタル寺院開発に用いるエージェントの設計について述べた。

## 参考文献

- [1] 角田篤泰, 山澤昌夫, 五太子政史, 白鳥則郎: デジタル・アイデンティティの危殆化に抗う「デジタル寺院」構想, 第 32 回全国大会研究報告書, 日本セキュリティマネジメント学会, pp. 1–6 (2018 年 6 月).
- [2] 藤田 茂, 樋地正浩, 滝雄太郎, 宮西洋太郎, 角田篤泰, 菅原研次, 白鳥則郎: “デジタル寺院”: モデルと基盤技術, 情報処理学会コンシューマ・デバイス&システム研究会 (2019 年 8 月).
- [3] 瓜生大輔: 弔いと技術革新: 0. 編集にあたって, 情報処理, Vol. 59, No. 7, pp. 600–601 (2018 年 7 月).
- [4] 瓜生大輔: 弔いと技術革新: 1. 弔いと技術革新にかかわる研究トピック, 情報処理, Vol. 59, No. 7, pp. 602–605 (2018 年 7 月).
- [5] 折田明子: 弔いと技術革新: 2. 死後のデータとプライバシー, 情報処理, Vol. 59, No. 7, pp. 606–609 (2018 年 7 月).
- [6] 賢隆角田: 弔いと技術革新: 3. 搬送式納骨堂を起点に考える寺院の未来 (現代における寺院経営の在り方), 情報処理, Vol. 59, No. 7, pp. 610–611 (2018).
- [7] 光彦秋田: 弔いと技術革新: 4. これからの寺院の役割とデジタルメディア～顔の見える「個人」とつながる, 情報処理, Vol. 59, No. 7, pp. 612–615 (2018).
- [8] 光一古荘: 弔いと技術革新: 5. 遺人形がもたらす未来の弔い-今までも、これからも共に過ごす日々-, 情報処理,

- Vol. 59, No. 7, pp. 616–619 (2018).
- [9] 那央近藤：吊いと技術革新：6. ロボットに魂を込める，情報処理， Vol. 59, No. 7, pp. 620–623 (2018).
- [10] 智美太田：吊いと技術革新：7. 一緒に暮らす「ロボット」が死ぬ日-「死」は，外部に依存する-，情報処理， Vol. 59, No. 7, pp. 624–625 (2018).
- [11] University of Southampton: Eternal 5D data storage could record the history of humankind, <https://www.southampton.ac.uk/news/2016/02/5d-data-storage-update.page> (2019/Aug/25 Accessed).
- [12] 白鳥則郎，稲葉 勉，中村直毅，菅沼拓夫：災害に強いグリーン指向ネバーダイ・ネットワーク，情報処理学会論文誌， Vol. 53, No. 7, pp. 1821–1831 (2012).
- [13] Shibata, Y., Uchida, N. and Shiratori, N.: Analysis and Proposal of Disaster Information Network from Experience of the Great East Japan Earthquake, *IEEE Communications Magazine*, pp. 44–48 (2014).
- [14] Suganuma, T., Oide, T., Kitagami, S., Sugawara, K. and Shiratori, N.: Multiagent-Based Flexible Edge Computing Architecture for IoT, *IEEE Network*, pp. 16–23 (2018).
- [15] Fujita, S., Sugawara, K., Kinoshita, T., Shiratori, N.: An Approach To Developing Human-Agent Symbiotic Space, *JCKBSE'96* (1996).
- [16] 藤田 茂，菅原研次，木下哲男，白鳥則郎：分散処理システムのエージェント指向アーキテクチャ，情報処理学会論文誌， Vol. 36, No. 5, pp. 840–853 (1996).
- [17] 菅沼拓夫，藤田 茂，菅原研次，木下哲男，白鳥則郎：マルチエージェントに基づくやわらかいビデオ会議システムの設計と実装，情報処理学会論文誌， Vol. 38, No. 6, pp. 1214–1224 (1998).
- [18] 原 英樹，藤田 茂，菅原研次，木下哲男，白鳥則郎：ADIPS フレームワークのための知識記述支援ツール，情報処理学会論文誌， Vol. 36, No. 11, pp. 3142–3144 (1998).
- [19] 藤田 茂，原 英樹，菅原研次，木下哲男，白鳥則郎：エージェント指向分散処理システム ADIPS のための組織構成エージェントの領域知識記述形式，情報処理学会論文誌， Vol. 39, No. 2, pp. 188–198 (1998).
- [20] Fujita, S., Sugawara, K., Kinoshita, T. and Shiratori, N.: Agent-based Design Model of Adaptive Distributed Systems, *Applied Intelligence*, Vol. 9, No. 1, pp. 55–68 (1998).
- [21] Maemura, T., Fujita, S. and Kinoshita, T.: Flexible Distributed System for Symbiotic Computing, *IEEE-ICCI2009*, pp. 141–144 (2009).
- [22] Koutero, A., Fujita, S. and Sugawara, K.: Design of an Assisting Agent Using a Dynamic Ontology, *IEEE/ACIS 9th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*, pp. 611–616 (2010).
- [23] Utsunomiya, H. and Fujita, S.: Moving Object Detection by a Ghost Cancel Method on Indoor Images, *IEEE 2010 International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications*, pp. 800–805 (2010).
- [24] Yamashita, M., Utsunomiya, H. and Fujita, S.: User Awareness Detection in the Room with Multiple Sensor Device, *13th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS)*, pp. 420–423 (2010).
- [25] Fujita, S., Sugawara, K., Moulin, C. and Bartes, J. P.: The design of awareness and operation module for the symbiotic applications, *9th IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI)*, pp. 625–630 (2010).
- [26] Sugawara, K., Manabe, Y., Fujita, S. and Yaala, S. B.: Interaction Zone between an office worker, *IEEE CSCWD*, pp. 862–866 (2011).
- [27] Moulin, C., Sugawara, K., Kaeri, Y., Fujita, S. and Abel, M.-H.: Collaborative Brainstorming Activity Results and Information Systems, *OTM Confederated International Conferences On the Move to Meaningful Internet Systems*, pp. 399–407 (2014).
- [28] Gidel, T., Fujita, S., Moulin, C., Sugawara, K., Suganuma, T., Kaeri, Y. and Shiratori, N.: Enforcing Methodological Rules During Collaborative Brainstorming to Enhance Results, *IEEE CSCWD* (2018).
- [29] Manabe, Y., Fujita, S., Konno, S., Hara, H. and Sugawara, K.: A concept of context-aware computing based on symbol grounding perspective, *2nd International Symposium on Aware Computing*, pp. 86–91 (2010).
- [30] Manabe, Y., Fujita, S., Konno, S., Hara, H. and Sugawara, K.: Low-level Cognitive Process Model for Symbol Grounding in Context-Aware System, *IEEE ICCI-CC'11*, pp. 247–253 (2011).
- [31] 滝雄太郎，藤田 茂，宮西洋太郎，白鳥則郎：軽量 N パーティ秘匿関数計算の一般化，情報処理学会論文誌， Vol. 59, No. 10, pp. 1895–1902 (2018).
- [32] 樋地正浩，橋 祐一，菊池一彦，藤田 茂，宮西洋太郎，白鳥則郎：分散秘匿計算による情報管理基盤が切り開く応用領域-減災分野，医療分野-，2018 年度情報処理学会東北支部研究会 (2019/February/9).
- [33] 滝雄太郎，藤田茂，宮西洋太郎，樋地正浩，白鳥則郎：“軽量 N パーティ秘匿関数計算の文字列検索拡張，情報処理学会シンポジウムシリーズ，DICOMO”， pp. 740–742.
- [34] Hirofumi Miyajima and Noritaka Shigei and Syunki Makino and Hiromi Miyajima, Yohtaro Miyamishi and Shinji Kitagami and Norio Shiratori: .
- [35] 宮島洋文，重井徳貴，宮島廣美，白鳥則郎：簡易秘密計算法による安全な連続値 Q-learning の実現，バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌， Vol. 20, No. 2, pp. 1–7 (2018).
- [36] Xiao, Y., Liu, J., Shen, Y., Jiang, X. and Shiratori, N.: Secure Communication in Non-Geostationary Orbit Satellite Systems: A Physical Layer Security Perspective, *IEEE Access*, Vol. 7, pp. 3371–3382 (online), DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2885979 (2019).
- [37] Hirofumi Miyajima and Noritaka Shigei and Hiromi Miyajima and Norio Shiratori: A Proposal of Profit Sharing Method For Secure Multiparty Computation, *International Journal of Innovative Computing*, Vol. 14, number =.
- [38] Hirofumi Miyajima and Hiromi Miyajima and Norio Shiratori: Proposal of security preserving machine learning of IoT, *Artificial Intelligence Research*, Vol. 7, No. 2, pp. 26–33 (2018).
- [39] Yang Xu, Jia Liu, Ruo Ando, Norio Shiratori: End-to-end congestion relief and physical layer security-aware routing design for ad hoc networks in IoT applications, *Journal of Information Science and Engineering*, Vol. 34, No. 4, pp. 1015–1030 (2018).
- [40] Hirofumi Miyajima and Noritaka Shigei and Hiromi Miyajima and Norio Shiratori: Analog Q-learning Methods for Secure Multiparty Computation, *Journal of Computer Science*, Vol. 45, No. 4, pp. 623–629 (2018).
- [41] Jia Liu and Yang Xu and Ruo Ando and Norio Shiratori: End-to-end Congestion Relief and Physical Layer Security-Aware Routing Design for Ad Hoc Networks in IoT Application, *Journal of Information Science & Engineering*, Vol. 34, No. 4, pp. 1015–1030 (2018).