

# エージェントを用いた Semantic Grid フレームワーク

木村拓広 石川太郎 須栗裕樹

株式会社コミュニケーションテクノロジーズ

Semantic Gridサービスを実現するために開発したフレームワークと、フレームワークを構成するエージェントについてそれぞれの概要を述べる。Semantic Gridは、処理対象とするデータや提供されるサービスのオントロジに基づいた処理を行うことで、より柔軟で適用範囲の広いGridコンピューティングを実現するものである。このフレームワークによるSemantic Gridアプリケーションは、既存のツールキットによって作成された分散処理、Webサービス、エージェントが提供するサービスを組み合わせることで実現され、エージェントが入出力の意味情報とアプリケーションの目的によって必要な処理手続きを決定し実行する。

## Design and Implementation of Agent-based Semantic Grid Framework

Takuhiro KIMURA, Taro ISHIKAWA, Hiroki SUGURI

Communication Technologies

This paper describes an agent architecture for implementing Semantic Grid services. We have developed a Semantic Grid framework using the agents. Semantic Grid aims at more flexible and applicable Grid computing that offers ontology-based data processing and service provisioning over traditional Grid environment. Semantic Grid applications built upon the framework utilize existing toolkits, web services and agent services where agents plan and execute necessary procedures by analyzing application purposes and semantics of input and output.

### 1. はじめに

近年、GridコンピューティングとセマンティックWeb技術を組み合わせることで、さまざまな分散リソースを効率的かつ一元的に活用することを目的としたSemantic Grid<sup>[1]</sup>という新しい分散処理技術が注目されている。既存のGrid技術では、「あるサービスをそのサービスについて記述したオントロジに基づいて、他のサービスと組み合わせる」という機能の実現が困難である。Semantic Gridは、この機能を実現するために、エージェントを用いてサービスのオントロジを解釈し、動的に実行環境を構築するものである。

類似の研究として、Gridサービスを提供するコンピュータ資源の管理をエージェントに行なわせ、Gridの拡張性を高めることを目的としたAgent Grid (Agent-based Grid)<sup>[2][3]</sup> というものがある。

我々は昨年からSemantic Grid環境を構築するためのエージェントに関する研究開発を行ってきた。本稿では、Semantic Gridフレームワークの機能要件について述べる。また、開発したSemantic Gridフレームワークとその中で使用されているエージェントの概要について述べる。

### 2. Semantic Grid

本研究では「データやサービスのオントロジを利用して処理を行う、より柔軟で適用範囲の広いGrid」をSemantic Gridと定義する。

Gridコンピューティングは、物理的に分散配置されているコンピュータ資源（分散リソース）を仮想的に集約し利用する技術である。Gridは科学技術計算や数値解析といった、規模の大きい処理に対する需要から開発された技術であり、計算資源を集約するComputing Gridや、ストレージ

ジ資源を集約するData Gridなどがある。これらは実運用システムとして活用され、成果を挙げている。

現在、Gridの開発における事実上の標準ミドルウェアとして Globus Toolkit Version4(GT4)<sup>[4]</sup> が公開されている。GT4はWebサービス技術を基礎として、分散コンピューティングの実現のために利用できる各種の機能を提供する。

しかし、このようなGridコンピューティングの仕組みを広く活用しようという試みはあまり行われていない。これは現在のGridコンピューティングの環境に、次のような問題があるためである。

- (1)Grid アプリケーションを実装するとき、「アプリケーションが処理するデータは、特定のオントロジに従って記述されている」ことを暗黙の前提としている。このため、別のオントロジによるデータを処理対象に含めることが難しい。一般的なGridアプリケーションは開発規模が大きいため、オントロジの切り替えや拡張のためのコストもまた大きくなる。
- (2)サービスのオントロジを提供、取得する仕組みがない。このため、Gridアプリケーションを他のアプリケーションと結合することが難しい。また、実装したサービスの再利用性が低い。

Semantic Gridでは、Webオントロジ言語として標準化されたOWL<sup>[6]</sup>を用いて、分散サービスのオントロジを記述する。その記述を利用するデータ処理や外部サービスの呼び出しによってアプリケーションを開発することで、上記のような問題点の解決を目指す。

### 3. Semantic Grid フレームワークへの要求

Semantic Gridアプリケーションを作成するためのフレームワークには次のような機能が要求される。

- (1)アプリケーションに、オントロジが異なるデータセットをそれぞれのオントロジに基づいて処理させる環境を提供すること。
- (2)サービスのオントロジを、サービスを利用しようとするクライアントに提供できること。
- (3)扱うデータのオントロジの解釈や、あるサー

ビスから見て利用可能な別のサービスの発見によって、そのデータに対する処理を動的に構成できること。

アプリケーションは、あるデータをそのオントロジに基づいて処理するために、OWLで記述されたオントロジを取得し、解釈し、推論を行って処理を実行しなければならない。フレームワークは、このような動作を支援する機能を提供しなければならない。

また、アプリケーションを構成する各サービスのオントロジが、クライアントから取得できなければならない。

Semantic Grid 上で動作するアプリケーションは、入力されたデータのオントロジ、アプリケーション実行時に利用可能な外部サービス、分散リソースの制限などの要因で処理の手順が変化する可能性がある。この場合、「発生し得るあらゆる状況を想定し、それに対応する処理の手順をあらかじめ記述しておく」という従来のアプリケーション開発手法を適用することは困難である。このため、Semantic Gridフレームワークは、「データに対する処理手続きをサービスの目的とその場の状況によって動的に構成する」ための機能を持っていなければならない。

### 4. エージェントを用いた Semantic Grid フレームワーク

我々はエージェントを用いて要求を満たす Semantic Grid フレームワークを開発した。この Semantic Grid フレームワークの全体構成を図1に示す。図中の各エージェントは、それぞれの目的に応じて実行可能な動作を組み合わせることで、他のエージェントに対するサービスを提供する。Semantic Gridアプリケーションは、次のコンポーネントをアプリケーションの目的によって動的に結合した、エージェントによる一つのサービスである。

- ・GT4を用いて作成したGridサービス
- ・エージェントが実行する処理
- ・Webサービス

利用者は、アプリケーションをWebブラウザまたはユーザインターフェースエージェントから利用する。また、他のエージェントは Semantic Gridアプリケーションをアプリケーションエー

エージェントが提供するサービスとして利用することができる。

このフレームワークでは、Gridサービスのオントロジーはそのサービスで用いられる分散リソースの情報と共にエージェントによって管理され、公開される。アプリケーションエージェントの開発者は、このように公開された情報を用いてアプリケーションを利用したり、機能の一部を再利用して新しいアプリケーションを作成することができる。

#### 4.1. アプリケーションエージェント

アプリケーションエージェントは、このフレームワークの中心となるエージェントであり、Semantic Gridアプリケーションをエージェントのサービスとして提供する。

アプリケーションエージェントは、他のエージェントから受け取った処理要求に基づき、動作目的を設定する。動作目的には例えば「要求された処理の結果を生成する」「指定された条件に合致するデータを分散リソース上から取得する」「指定されたデータを分散リソース上に格納する」などがある。次に、アプリケーションエージェントは各処理に関する知識を組み合わせることで動作目的を達成するための処理手続きを構成し、実行する。処理には「データの取得と分類」「データの変換、分割」「分散リソースの取得」「分散処理や他のエージェントのサービスを利用したデータ処

理の実行」「結果の格納」のようなものが含まれる。

アプリケーションエージェントはSemantic Gridアプリケーションごとに固有の処理を行うエージェントである。このフレームワークでは、アプリケーションエージェントを作成するためのスケルトンエージェント(アプリケーション固有の機能を追加することでサービスを提供するエージェント)として、次の基本的な機能を持ったエージェントを提供する。

- インタフェースエージェントから受け取った要求ごとにセッションエージェントを生成し、要求された内容に対応する動作目的を設定する。
- 実行可能、利用可能な機能から設定された動作目的を達成するための処理の手続きを決定し、実行する。
- 分散リソースの割り当てをリソース情報集約エージェントに要求し、利用可能な分散リソースの情報を取得する。
- 他のエージェントに対して指定した処理を要求し、実行結果を取得する。
- 処理経過、処理結果をセッションエージェントに通知する。

#### 4.2. セッションエージェント

セッションエージェントはアプリケーションエージェントが実行する一連の処理をセッションとして管理し、アプリケーションの実行結果を利

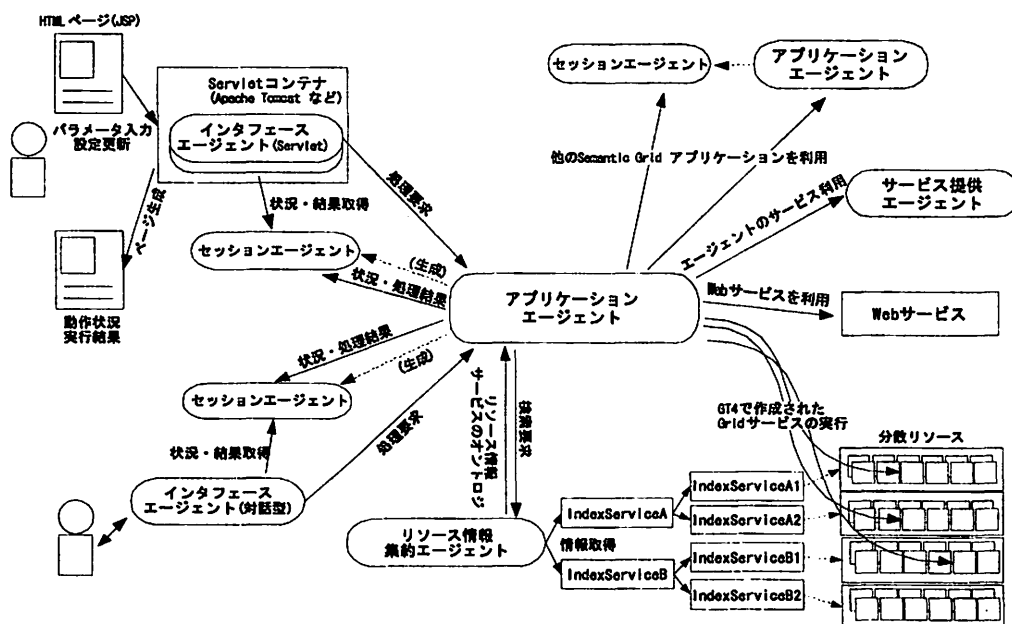


図1. エージェントによる Semantic Grid フレームワーク

用者が取得するまでの間保持するエージェントである。

セッションエージェントはアプリケーションエージェントのサービスが呼び出されるごとに生成され、サービスの実行状況や分散リソースの利用状況、実行結果をそれぞれアプリケーションエージェントから受け取る。セッションエージェントは受け取った実行状況に関する情報や実行結果を保存し、サービスを起動したエージェントからの情報取得要求に応じて情報を提供する。

インタフェースエージェントからの情報取得要求をセッションエージェントが処理することで、アプリケーションエージェントの処理を単純化することができる。また、結果をセッションエージェントが保持することで、サービスを起動したエージェントはアプリケーションの処理完了まで実行を続けることなく動作を中断、終了することができる。

#### 4.3. リソース情報集約エージェント

リソース情報集約エージェントは分散リソースの情報を管理し、アプリケーションエージェントからの要求に応じて分散リソースを割り当てるエージェントである。

リソース情報集約エージェントは分散リソースの管理情報をGT4の情報管理サービス(IndexService)やNet-SNMPサービスから収集する。収集した情報を各リソースの入出力やオントロジと関連づけ、「どのような入出力とオントロジを持つ分散サービスが使用できるか」「どのようなオントロジのデータがどこに格納されており、どの程度追加可能か」などを表現した情報として管理する。

また、リソース情報集約エージェントはアプリケーションエージェントからリソース割り当ての要求を受け取り、要求された処理やデータの内容とそのオントロジに従って、管理している分散リソースの情報を選択し、アプリケーションエージェントに対して利用可能な分散リソースの情報やオントロジを提供する。

#### 4.4. インタフェースエージェント

インタフェースエージェントは利用者との間での入出力を行うためのエージェントである。インタフェースエージェントはSemantic Gridアプリ

ケーションに対するパラメータや入力データの設定を行い、アプリケーションを起動する。また、セッションエージェントから進捗やリソース使用状況、実行結果の提供を受け、利用者に提示する。インタフェースエージェントには次の2種類がある。

- (1) アプリケーションをWebブラウザから利用するためにJava Servletの一部として生成され、一つの要求(開始、進捗取得、設定変更、中断、結果取得)の間だけ存在するもの。
- (2) GUIを持ち、直接利用者の操作を受け付けるもの。

#### 4.5. フレームワークを用いたSemantic Gridアプリケーションの開発

アプリケーション開発者が、このフレームワークを用いてSemantic Gridアプリケーションを開発する場合、次の手順を踏む。

- アプリケーション及び対象となるデータのオントロジを設計、記述する。
- Semantic Gridアプリケーションを構成する各処理を、「GT4を利用した分散処理サービス」「アプリケーションエージェントが直接呼び出すことができるJavaメソッド」「エージェントによるサービス」のいずれかとして作成する。
- 各処理の入出力に関する情報を、サービス及び入出力データのオントロジを用いて記述する。
- アプリケーションエージェントに対する要求に対応したエージェントの動作目的をサービスや入出力データのオントロジを用いて定義する。アプリケーション開発の際には、過去に開発した処理や分散処理サービスを再利用するために、入出力に関する情報やそのオントロジを参照することができる。

### 5. エージェントアーキテクチャ

Semantic Gridフレームワークで使用されるエージェントのアーキテクチャを図2に示す。

エージェントはFIPA<sup>[6]</sup>に準拠したエージェントであり、FIPA-ACL<sup>[7]</sup>/SL<sup>[8]</sup>を一般的なエージェント間のメッセージ通信に用いる。エージェントは、入力データ(受信したメッセージ及び外部ソフトウェアからの入力)を、その内容とオントロジを用いてOWLで記述された知識表現に変換す

る。変換した知識表現は、エージェントが持つ知識ベースに登録されるか、知識の検索条件として用いられる。

また、エージェントは自身の知識ベースに蓄積している任意のOWL表現をメッセージコンテンツとし、他のエージェントに対して送信することができる。これによりエージェント間でオントロジの内容を直接交換することができる。

エージェントはこのようにして外部から得られた情報と、各エージェント固有の動作目的から自身の動作を決定し、動作を開始する。動作の実行完了によって得た結果はエージェントの知識ベースに追加される。このような知識は外部から得た知識と同様に別の動作を開始するための条件として利用されることがある。

エージェントは、Java Agent Services<sup>[10]</sup>仕様に準拠しているほか、最新のFIPA仕様に準拠する他のエージェントプラットフォームのエージェントとの相互運用性を持っている。

### 5.1. OWLによるエージェントの動作記述

エージェントの動作はエージェントの知識と同様にOWLを用いて記述する。エージェントの動作を表現した知識は、「動作を開始するために必要となる知識」「動作を完了した場合に得られる結果や効果を指す知識」「動作の具体的な内容を指す知識」のそれぞれをプロパティとする知識としてエージェントの知識ベースに登録する。

「動作を開始するために必要となる知識」「動作を完了した場合に得られる結果や効果を指す知識」の記述中ではRDFリソースのURLを無視し、RDFリソースの型(rdf:typeプロパティの値)とリテラルの値、同一の動作に付加されたプロパティの値との関連を利用し、実際の知識との比較を行う。このような比較を行うことで、「あるエージェントに関する知識を用いて、そのエージェントのメッセージ受信インタフェースのURIを得る」のような、実際の対象を特定しない動作を記述することができる。

### 5.2. エージェントの動作決定

エージェントは動作を表現した知識に付加されたプロパティの値の間の関連を用いて「入力となる知識と実行する動作を仮定した場合に得られる結果や効果」「動作を実行することで得たい結果を仮定した場合、そのために必要な知識」をそれぞれ推論し、推論結果を用いて動作が可能かどうかの判定や他の動作との結合を行う。

エージェントは「動作が可能であり、その動作(あるいは結合した他の動作)がエージェントの役割として指定された動作である」(前向き推論)あるいは「必要な知識が動作の結果として得られ、その動作は現在の知識(と結合した動作)によって実行可能である」(後向き推論)のどちらかである場合に動作を開始する。動作は「他のエージェントとのメッセージ通信による機能呼び

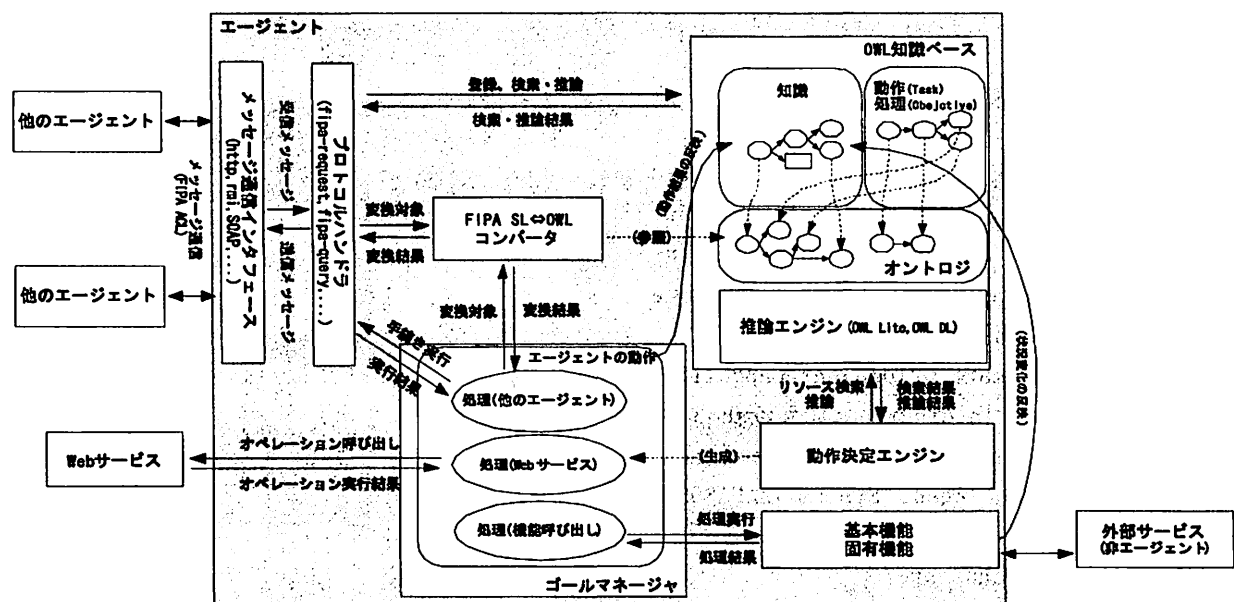


図2. エージェントのアーキテクチャ

出し」「WSDLを用いて定義されたWebサービスの呼び出し」「Javaメソッドの実行」を組み合わせたものとして実行される。

## 6. 関連研究

(株)ギャラクシーエクスプレスは「セマンティック・ウェブサービス用エージェント」<sup>[11]</sup>を開発している。このエージェントは開発中のロケット打ち上げ支援システムの中で利用されるもので、実現すべきゴールと各処理の前提条件及び効果から、必要なWebサービスの実行シーケンスを生成し順に実行することができる。実行シーケンスはSchemeベースのタスク記述言語によって記述され、リソース競合の解決などを含む高度で汎用的なスケジューリング機能を実現目標として開発が行われている<sup>[12]</sup>。このエージェントではスケジューリングと動的組み合わせの対象をWebサービスに限定している。

## 7. おわりに

本稿ではSemantic Gridフレームワーク及びその中で使用されるエージェントの構成についてそれぞれの概要を述べた。現在このフレームワークを用いて評価用アプリケーションを作成中であり、このアプリケーションを用いて問題点の発見や評価を行う予定である。

## 参考文献

- [1]<http://www.semanticgrid.org/>
- [2]Agostino Poggi, Michele Tomaiuolo, Paola Turci: Extending JADE for Agent Grid Applications, 13th IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises(WETICE' 04), pp.352-357
- [3]C.Thompson: Smart Grid/Agent Capability Architecture, International Workshop on Smart Grid Technologies(SGT05), Autonomous Agents & Multi Agent Systems(AAMAS05), pp.107-113
- [4]<http://www.globus.org/>
- [5]<http://www.w3.org/TR/owl-ref/>
- [6]<http://www.fipa.org/>
- [7]FIPA ACL Message Structure Specification, <http://www.fipa.org/specs/fipa00061/>
- [8]FIPA SL Content Language Specification, <http://www.fipa.org/specs/>
- [9]FIPA Communicative Act Library Specification, <http://www.fipa.org/specs/fipa00037/>
- [10]<http://www.jcp.org/en/jsr/detail?id=87>
- [11]小出誠二, 島田紀一:「セマンティック・ウェブサービス用エージェント -計画それとも解釈実行?-」, 人工知能学会研究会資料(SIG-SW0-A303-09), <http://www.jaist.ac.jp/ks/labs/kbs-lab/sig-swo/papers/SIG-SW0-A303/SIG-SW0-A303-09.pdf>
- [12]小出誠二, 島田紀一:「セマンティックウェブサービスのためのタスク処理言語」, 人工知能学会研究会資料(SIG-SW0-A404-02), <http://www.jaist.ac.jp/ks/labs/kbs-lab/sig-swo/papers/SIG-SW0-A404/SIG-SW0-A404-02.pdf>