

CORBA を用いた分散型学習システムの開発

谷川 健[†] 富士 隆^{††} 三枝 武男^{††}

インターネットの普及により、情報共有の基盤が整いつつある。学習環境においても、各組織で開発された教材を相互利用することにより、教材の有効利用を図ることが重要な課題となりつつある。各組織で開発された教材は、物理的にはアクセス可能であるが、独自の環境で開発されているため、そのままでは相互利用できない。本論文では、異なる環境で開発された教材の相互利用を可能とする分散型学習システムについて述べる。CORBA (Common Object Request Broker Architecture) の分散オブジェクト技術を利用することにより、それぞれの組織において共通インタフェースを持つ CORBA オブジェクトとして開発された教材を統一的に扱い、相互利用できる環境を実現している。教材が分散した環境における学習者に適した教材を検索する手法、教材部品の管理されている環境と学習者のいる環境が異なるときにいかに教材オブジェクトを実行するかについて、実現方式と実装方式について述べる。さらに、大学と企業の2つの Site における高度情報処理教育を対象にした実験により、提案したシステムの有効性を示す。

A Developing of Distributed Learning Systems Using CORBA

TAKESHI TANIGAWA,[†] TAKASHI FUJI^{††} and TAKEO SAEGUSA^{††}

According to wide use of internet, an infrastructure of information sharing has been established. In the learning environment, it is one of the most important issues that a learner can study instructional materials which have been developed in another organization. A learner can access such instructional materials on the internet physically, but these instructional materials are developed in different platform. Therefore, a learner can't study them heterogeneously. In this paper, we describe a learning systems for distributed instructional materials. In this learning systems, the distributed instructional materials developed by CORBA (Common Object Request Broker Architecture) are able to be treated uniformly by using distributed object-oriented technology CORBA. The method and implementation of querying instructional materials and executing instructional objects in distributed environment are presented. Validity of our proposed system is also presented by showing a case study in systems analyst education at university and company site.

1. はじめに

技術の急速な発展の中、新しい技術を迅速に教育していくことが重要な課題となりつつあり、教育の重要性が再認識されている。企業や大学では独自の教材を作る機会が増え、各組織にオリジナリティあふれる教材が蓄積されていくことが想定される。各組織がインターネット等のネットワークで接続されているので、これらの教材を相互利用できる状況は整いつつある。しかし、個々の教材は独自の環境で開発されているので簡単には相互利用できない。これを解決するために

は、分散した教材を統一的に扱うためのプラットフォームが必要となる。このプラットフォームを構築するためには、教材を再利用できるように管理することと、分散して管理されている教材を統一的に扱えるようにすることが重要である。前者については、学習情報リポジトリに関する研究¹⁾や IEEE における学習情報の再利用に関する標準化の取組み²⁾等がある。本論文では、分散オブジェクト技術として OMG (The Object Group, Inc.) で標準化が進められている CORBA を利用して、分散した教材を統一的に扱う仕組みについて議論する。CORBA は分散した環境においてオブジェクト指向技術を扱えるようにしている。教材を CORBA オブジェクトとして開発しインタフェースを統一することにより、分散している教材の実装を隠蔽し、それぞれの組織で開発された実装環境が異なる教材を統一的に扱うことが可能となる。これらの教材

[†] 電子開発学園北海道電子計算機専門学校
Hokkaido Computer School, Electronic Development
Computer College

^{††} 北海道情報大学
Hokkaido Information University

オブジェクトを学習者の理解度や特性に合わせて組み合わせることにより、分散した教材を対象にした学習者に最適な教材提供が可能となる。システム分析者等を養成する高度情報処理教育では、理論的な学習とともに実践的な学習が重要である。一般に、大学には理論的な教材が、企業では実践的な教材が開発、蓄積される。提案のシステムを用いることにより、どちらのSiteの学習者も大学の理論的な教材と企業の実践的な教材を、教材の存在する場所を意識することなく学習することができ、効果的な学習が期待できる。

以下、2章では、分散型学習システムの開発手法について述べる。3章では、分散型学習システムのアーキテクチャについて述べる。この中で、分散した教材を対象にするために追加すべき機能をCAI Interfaceとして位置づける。CAI Interface機能として、分散した教材の検索と教材の動的な実行があることを示す。4章では、CAI Interface機能の実現方式について、5章では実装方式について述べる。6章では、機能面と開発面における考察を行い、7章で関連研究について述べる。

2. 分散型学習システムの開発手法

我々は、個人学習型のCAIフレームワークを開発してきた³⁾。分散した教材を相互利用できる分散型学習システムを開発するのに、このフレームワークを基本フレームワークとして位置づけて、これを分散した教材に対応できるように拡張するアプローチをとる。このアプローチを採用したのは、個人学習型CAIフレームワークで採用した教材の部品化の方法が、学習者に適した教材提供を行うときに有効であったため、この枠組みを分散型学習システムにも適用するためである。

2.1 個人学習型CAI基本フレームワーク

学習者の理解度や特性に応じた教材提供を行うために、従来の3つのタイプのCAI(伝統的CAI, 知的CAI, 環境型CAI)から学習システムに必要な要件を洗い出した。そして、この結果をオブジェクト指向によりモデル化して個人学習型基本フレームワークを開発した³⁾。このようにして開発した個人学習型CAI基本フレームワークは、以下の機能を有する。

- 学習方法の最適化
学習者の学習目標、理解度等を把握し、最適な学習形態(チュートリアル型、環境型等)や学習の順序を決定する。
- 学習内容(説明、問題等)の自動最適化
学習の履歴、学習者の理解度・特性等により学習

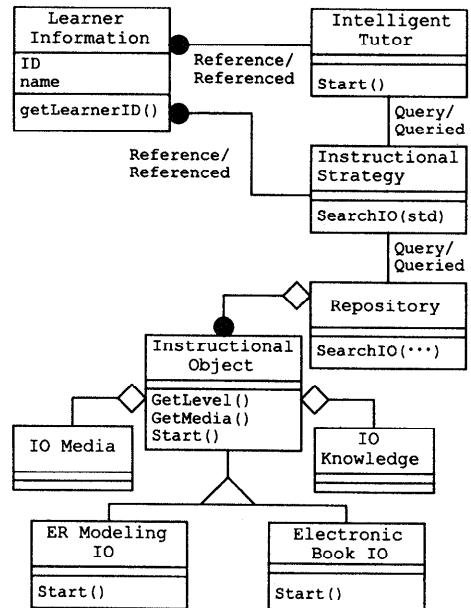


図1 個人学習型CAI基本フレームワークのオブジェクトモデル
Fig. 1 Object model of individual CAI basic framework.

者に適した教材を動的に提供する。

- 学習者の誤り分析
問題の解答に対する誤答の原因を把握し、適切な治療を行う。
- 学習者の学習意欲の状態把握
学習の進捗状況、キー操作のスピードの変化等から学習者の学習態度を分析し、意欲づけを行う。
- 学習者の問合せへの対応
学習者の問合せ(関連知識探索、質問等)にインタラクティブに応答し、学習者主導の学習を可能にする。

図1に、OMT法⁴⁾の記法による個人学習型CAI基本フレームワークのオブジェクトモデルを示す。個人学習型CAI基本フレームワークを構成する主なオブジェクトは以下のとおりである。

- Intelligent Tutor
学習全体の流れを制御し、学習者とのインタフェースを行う。
- Learner Information
学習者の理解度、メディア特性、理解した知識構造である学習者モデル等を管理する。メディア特性とは、学習者が理解しやすいメディアを示すもので、文章中心、静止画中心、動画中心等がある。
- Instructional Strategy
学習者の進捗状況、理解度やメディア特性に適した教材を選択するルールを保持し、学習者に適し

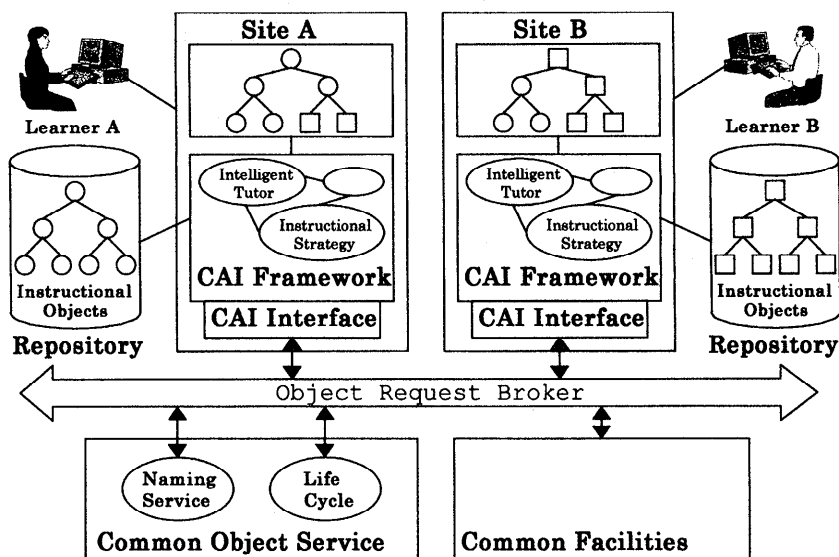


図2 CORBAを用いた分散型学習システムのアーキテクチャ

Fig. 2 Architecture of distributed learning systems using CORBA.

た教材 (Instructional Object) を決定する。

- Instructional Object

教材の再利用を可能とした教える単位である教材部品のことである。学習者に提示するメディア情報 (IO Media) と、学習者からの質問に回答したり誤りを診断する教材知識 (IO Knowledge) を保持し、このオブジェクトだけで学習実行が可能で、この単位で再利用が可能となる。各教材オブジェクトは、その教材で教えるべきこと (キーワード) と、難易度 (レベル)、メディア特性を保持している。この Instructional Object は、教材オブジェクトの抽象クラスで、各教材種別ごとに具象クラスが用意される。教材オブジェクトの学習実行のインタフェースを統一することにより、種別の異なる教材に対して同一のメッセージ “start” を送ることにより学習実行が可能となる。

- Repository

教材 (Instructional Object) を一元管理している学習情報リポジトリである。管理している教材を対象に指定されたキーワード、レベル、メディア特性の教材を検索する機能を有する。

2.2 CORBA による分散オブジェクト化

この CAI 基本フレームワークを分散した教材に対応するように拡張するために、OMT が標準化を進める分散オブジェクト技術の CORBA⁵⁾ を採用した。CORBA を採用した理由は、以下のとおりである。

- CAI 基本フレームワークをオブジェクト指向技術

を用いて開発したので、分散オブジェクト技術による分散化により、オブジェクト技術による一貫した開発ができる。

- OMG IDL による共通インタフェースの提供と IIOP 等によるインタオペラビリティの保証等により、CORBA は異機種環境に分散して存在するオブジェクトを統一的に扱うのに適している。この異機種環境における統合化の能力が、分散した教材を統一的に扱うときに有効に使える。
- CORBA は、分散環境におけるアプリケーションフレームワークの開発に適している⁶⁾。
- OMG で標準化が進められている Object service (Naming, Life Cycle 等) を利用することにより、分散システムの効率的な開発が期待できる。

3. 分散型学習システムのアーキテクチャ

3.1 基本フレームワークと CAI Interface

CORBA を用いて分散環境を構築するためには、CAI 基本フレームワークの各構成要素を分散オブジェクトとして実現する必要がある。基本フレームワークを CORBA の分散オブジェクトで実現したときのアーキテクチャを図 2 に示す。

本アーキテクチャの構成要素は以下のとおりである。

- Site
学習情報を管理する単位で、大学や企業にあたる。
- CAI Framework
CAI 基本フレームワークの各構成要素を CORBA

オブジェクト化したもので、学習システムの基本機能を提供する。Intelligent Tutor, Instructional Strategy 等のオブジェクトの機能は、CAI 基本フレームワークと同じである。

● CAI Interface

CAI 基本フレームワークを分散した教材に対応しようとするときに、CAI 基本フレームワークに付加しなければならない機能を保持したオブジェクトである。詳細は、3.2 節で議論する。

この分散型学習システムでは、学習者が自分の Site の教材で学習している。しかし、学習者の興味や教授方略からの要請等により、異なる分野の教材やレベルの違う教材が必要になったときに、学習者の Site では教材が提供できないことがある。このとき、この学習システムでは、他の Site で管理されている教材から条件にあったものを検索し、見つかった教材を学習者に提供する。図 2 で、Site A にいる Learner A は、Site A の教材 (○) を主体に学習するが、教授方略等の判断により Site B の教材 (□) も学習することができる。

3.2 CAI Interface オブジェクトの基本機能

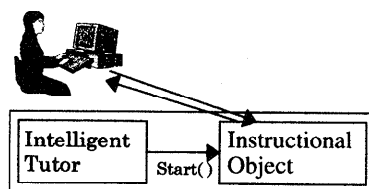
分散して存在する教材を対象にすることにより、CAI 基本フレームワークに付加すべき機能は次の 2 つである。

3.2.1 分散した教材を対象にした最適教材の検索

CAI 基本フレームワークでは、コースウェアごとに習得すべき知識の階層構造を学習テーマ構造として管理している。学習者の進捗状況に応じてこの学習テーマで学ぶべき知識を持った教材を検索し、それらの教材の中から学習者の理解度とメディア特性にあったものを決定し、学習者に提示する。通常、学習している Site で管理している教材で学習を進める。しかし、たとえば、大学で学ぶ学習者がより実践的な内容の教材を望む場合や、異なる分野の教材を提供する必要がある場合等では、教材が当該 Site になくことが想定される。このようなときに、分散した教材を対象に希望するものを探して学習者に提供する機能が必要となる。このことにより、学習者に提供する教材の幅を広げることができ、いろいろな観点からの学習が可能となる。整理すると、分散した教材の環境では、学習者の進捗にあった教材知識を持ち、学習者の理解度やメディア特性にあった教材を、まず学習者のいる Site で探し、なかったら他の Site の教材から探す機能が必要となる。

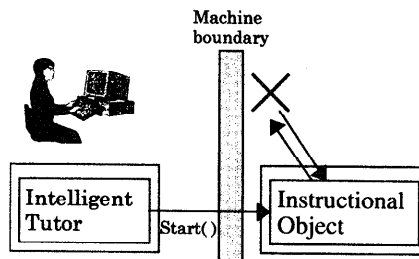
3.2.2 異機種環境の教材の実行

CAI 基本フレームワークでは、学習者に適した教材



(a) CAI 基本フレームワーク

(a) CAI basic framework.



(b) 分散環境

(b) Distributed environment.

図 3 Instructional object の学習実行
Fig. 3 Execution of instructional object.

を見つけたら、その教材に対して学習実行の開始要求メッセージ “start” を送ることにより学習実行を開始している (図 3 (a))。このことにより、教材の種別ごとに学習実行の方法が異なることを隠蔽し、新たな学習実行方法を持つ教材の追加が容易にできるようにしている。CORBA 化した環境では、Intelligent Tutor と Instructional Object の実行環境が異なるマシンであるために、Intelligent Tutor から Instructional Object に “start” メッセージを送っても、Intelligent Tutor の環境で実行できないため、動作しなくなる (図 3 (b))。学習者の環境と Instructional Object の存在する環境が同一マシン上でないときに、教材を実行する機能が必要となる。

4. CAI Interface オブジェクトの実現方式

4.1 分散した教材の検索方式

4.1.1 CORBA サービスを利用した教材検索

OMG では、CORBA を中心とした分散システムを構築するうえで必要となる基本機能について CORBA サービスとして標準化を進めている⁷⁾。その中で、オブジェクトの検索機能を持つサービスについて、教材オブジェクトの検索に使えるかどうかを検討する。ここでは、Naming service と Query service について検討した。他に Trader Object service があるが、実装されている ORB 製品が少ないため、検討対象から除外した。

(1) Naming service

Naming service⁷⁾は、名前とオブジェクト参照(オブジェクト ID)の関係を管理し、名前でもオブジェクトを同定することによりオブジェクトの位置透過性を実現するのに役立つ。Naming serviceの中心をなすものは、Naming Graphという名前の階層構造である。Naming Graphでは、名前をディレクトリの階層構造と同様に階層構造として表現する。この名前に従ってNaming Graphの階層構造をたどることによって、名前に対応するオブジェクトのオブジェクト参照を得ることができる。

CORBAのNaming serviceでは、基本的に検索機能を用意していない。したがって、直接このサービスを利用することはできないが、オブジェクトの名前を使うことによりオブジェクトの位置透過性を実現するには有効である。すなわち、アプリケーションにおけるオブジェクトの識別はオブジェクトの名前を使用し、実際のオブジェクト参照が必要ときにNaming serviceを利用すれば、そのオブジェクトの位置が変わったときもNaming serviceの情報を更新するだけでアプリケーションに影響を与えることはない。

(2) Query service

Query service⁷⁾は、分散しているオブジェクトに問合せを行い、条件にあったオブジェクトを結果としてQueryサービスのClientに戻す。Queryサービスでは、SQL-92またはOQL-93 Basicを問合せ言語として使っており、柔軟なオブジェクトの検索を支援している。また、Queryable Collection インタフェースという問合せ機能を持つオブジェクト集合を導入することにより再帰的な問合せを実現している。このことにより、1つのSiteにオブジェクトがないときは、あらかじめ指定された別のSiteを探ることが可能となる。Queryサービスで、教材検索を実現しようとすると、各SiteにQueryable Collectionを継承した検索エンジンを置き、その要素のいくつかに別のSiteのQueryable Collectionを持つことにより実現することになる。この場合、あらかじめ要素として定義する別のSiteを知っておく必要がある。また、探す教材によってはすべてのSiteを検索する必要があるため、Siteの数に対するスケール特性に問題がある。

CORBAサービスの検索機能を検討した結果、教材検索にそのまま利用して有効なものはないことが分かった。しかし、オブジェクトの位置透過性を実現するときに、Naming serviceは有効であるので、このNaming serviceを利用した教材検索方法を検討することにした。

4.1.2 グローバル教材管理情報

各SiteにあるRepositoryは、そのSiteで管理している教材については、学習者に適したものを提供する機能を有している。したがって、Site内の教材検索はRepositoryに依頼すればよいので、検索したい教材がどこのSiteにあるかを見つける機構が必要となる。そのために、教材の検索条件とその教材を管理しているSiteとの対応を管理するグローバル教材管理情報を持つことにする。グローバル教材管理情報として何を持つべきかについて議論する。

教材の検索は、学習者が学習すべき教材知識を持つ必要がある。CAI基本フレームワークでは、この教材知識をいくつかのキーワードの組合せで表現し、学習テーマの持つキーワードを含む教材を、学習テーマを教える教材として学習者に提供している。このため、教材検索の第1条件は、学習テーマの持つキーワードを含む教材であることになる。また、その中から学習者の理解度とメディア特性にあったものを選択することになるので、学習者の理解度に対応した難易度(レベル)の教材でメディア特性が一致することが第2の検索条件となる。教材管理情報としては、キーワード、レベル、メディア特性とその条件にあった教材を持つSiteを管理すればよい。この情報を管理することにより、検索条件(キーワード、レベル、メディア特性)にあった教材のあるSiteを見つけることができる。グローバル管理情報の構成を表1に示す。

教材管理情報のSite名とそのSiteのRepositoryオブジェクトの対応をNaming serviceに登録することにより、Repositoryオブジェクトの物理的な位置の透過性を実現する。

各Siteで教材が追加されたり削除されたときに、各SiteのRepositoryがグローバル管理情報を管理するオブジェクトに更新内容を通知することにより、グローバル管理情報が更新される。

4.1.3 グローバル教材管理情報による教材検索

グローバル教材管理情報を使った教材検索の機構を図4に示す。

● Global Instruction Manager

グローバル教材管理情報で、システムにただ1つ存在する。

表 1 グローバル教材管理情報
Table 1 Global information for managing distributed instrrtution units.

Keyword	Level	Media	Site name
Object Oriented Technology	Beginning	Video	Rebecca.HIU.Rep
Object Oriented Technology	Intermediate	Text	Rebecca.SRL.Rep
Object Oriented Technology	Advanced	Text	Rebecca.SRL.Rep

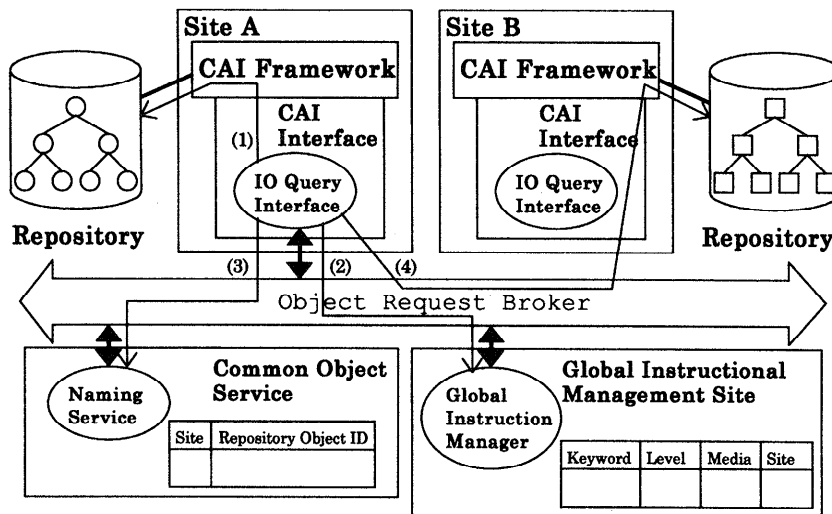


図 4 グローバル教材管理情報と Naming Service による教材検索機構

Fig. 4 Query mechanism of global instructional objects.

- IO Query Interface
グローバル教材管理情報を利用した分散教材検索機能を提供する。
- Naming Service
Site 名と各 Site の Repository オブジェクトの対応を保持している。

IO Query Interface オブジェクトにおいて、グローバル教材管理情報と Naming Service を用いた検索は、以下の手順で行われる。

- (1) IO Query Interface は、自 Site の Repository Object に、学習すべきキーワード、学習者のレベル、メディア特性にあった教材の検索要求を行う。
- (2) (1) で教材が見つからなかったときは、IO Query Interface は、同じ条件の教材を持つ Site を知るために、Global Instruction Manager に、条件にあった Site 名取得の要求を送る。
- (3) (2) で分かった Site 名から Naming Service を使ってその Site の Repository オブジェクトを知る。
- (4) その Repository オブジェクトに、教材検索を行うことにより学習者に適した教材を得る。

4.1.4 グローバル教材管理情報を利用した教材検索の有効性

分散した情報を見つけるためには、見つけるためのインデクスと物理的な位置等を結び付ける管理情報を持つ必要がある。本システムでは、検索条件とそれにあつた教材の位置を結び付ける情報がそれにあたる。この管理情報を保持する手法として次の方法がある。

- (1) ローカルの管理情報を各 Site に持ち、見つけるまで他の Site に検索依頼を行う。
- (2) 検索対象となる全情報（グローバル管理情報）を 1 つの Site に保持し、検索時にいつもこの Site に問合せを行い、結果を得る。
- (3) グローバル管理情報を各 Site にコピーし、その情報から結果を得る。

(1) の方法は、Site の数に検索の時間が依存してしまい、Site の数が増加すると検索時間が遅くなることになる。また、(2) の方法は、グローバル情報を管理する Site にアクセスが集中する欠点がある。(3) の方法は、(2) の欠点は克服できるが、冗長な情報を持つことと、各 Site 間の情報の整合性保持のためのしくみが必要になる。本システムでは、Site の数が増加してもアクセス時間が増加しないようにするために、

方式(1)と(2)を併用する検索方式を採用した。すなわち、各 Site は、ローカルに教材検索機能を持ち、見つからなかったときに、グローバル情報を参照して目的の教材を見つけることになる。この方式により、Site 数が増加しても、最大の検索時間は、自分の Site に教材がある場合の検索時間の約 2.5 倍におさえることができた。

4.2 異機種環境の教材の実行方式

教材オブジェクトは、学習者と対話する部分 (GUI 部) と教材データから構成される。GUI 部は、教材の提示や質問等の対話処理を行う部分で、教材データは提示するデータや質問に回答するための教材知識等からなる。GUI 部や教材データの構造は、教材の種別に依存する。たとえば、説明教材では、GUI 部はテキスト、静止画、動画、音声等からなる提示教材を提示したり、教材知識から提供される質問を提示したりする。また、教材データは、提示するマルチメディアデータとその提示順序や、質問に回答するための教材知識等を保持する。また、シミュレーション教材では、GUI 部は該当するシミュレーション環境の対話を提供し、教材データは、シミュレーションに必要なデータとシミュレーション途中のヒントを提供したり解の評価をしたりする教材知識等から構成される。

学習者の環境と教材が管理されている環境が異なる状況では、教材オブジェクトの GUI 部と教材データをカプセル化したままでは、正常に動作しない。このことを解決する方法として、教材の GUI 部と教材データを分離し、教材の GUI 部を Client に置く方式が一般的である。しかし、この方法では、Client 側に教材種別に対応した教材の GUI 部をすべて用意しておく必要がある。また、教材検索で未知の教材種別の教材が検索されると、対応する GUI 部が Client に存在しないので教材を学習者に提示できないことになる。

もし、Repository で管理されている教材オブジェクトが、GUI 部と教材データをカプセル化したまま Client 環境に移動し、Client 上で動的に教材実行させることができれば、教材種別の違いによらず、移動してきた教材オブジェクトに教材実行開始メッセージを送るだけで、教材実行が可能となる。Repository の教材オブジェクトを Client 環境に移動して実行させるためには、教材オブジェクトの GUI 部を Client で解釈可能な言語で書く必要がある。本システムでは、教材オブジェクトの GUI 部を Java の Byte コードで管理することにより、Repository で管理している教材オブジェクトを Client で実行できるようにした (5.3 節参照)。

5. CAI Interface オブジェクトの Java と CORBA による実装

分散環境に対応した個人学習型の学習システムを CORBA と Java を用いて実装した。

5.1 Java の採用

サーバ側のオブジェクトは、CORBA (DSOM) で実装し、Client 側の環境を Java で実装した。Java 環境から CORBA オブジェクトへのアクセスは、Joe (SOMJCL) を利用した。Client 側を Java で実装したのは、

- Java がマルチプラットフォームに対応している、
- ネットワークを介して Class 情報をロードできる、
- オブジェクト指向言語であり、CORBA との相性が良い、

を評価したからである。

5.2 教材検索の実装

グローバル教材管理情報と Naming service を利用した教材検索の主要な部分の Java のソースコードを図 5 (a) に示す。図 5 (b) には、表 1 に示すグローバル教材管理情報を対象に “Rebecca.HIU” Site で、キーワードが “Object Oriented Technology”, レベルが中級 (“Intermediate”), メディア特性が文章中心 (“Text”) の教材を検索したときの動作の例を示す。図 5 に現れる主なメソッドの意味は以下のとおりである。

- searchIO(keyword,level,media)
Repository が提供するメソッドで、条件にあった教材オブジェクト ID を戻す。
- searchRep(keyword,level,media)
Global Instruction Manager が提供するメソッドで、条件にあった教材を管理している Site 名を戻す。
- resolve(name)
Naming service が提供するメソッドで、名前に対応したオブジェクト ID を戻す。

図 5 における動作は、以下のとおりである。

- (1) IO Query Object が自分の Site の Repository (名前が “Rebecca.HIU.Rep”) に対して教材検索を要求する。自分 Site には、該当する教材がないので “null” が戻る。
- (2) IO Query Object が条件にあった教材のある Site 名を Global Instruction Manger に問い合わせる。表 1 の 2 番目が条件に該当するので、Site 名として “Rebecca.SRL.Rep” が戻る。
- (3) IO Query Object は、Naming service の re-

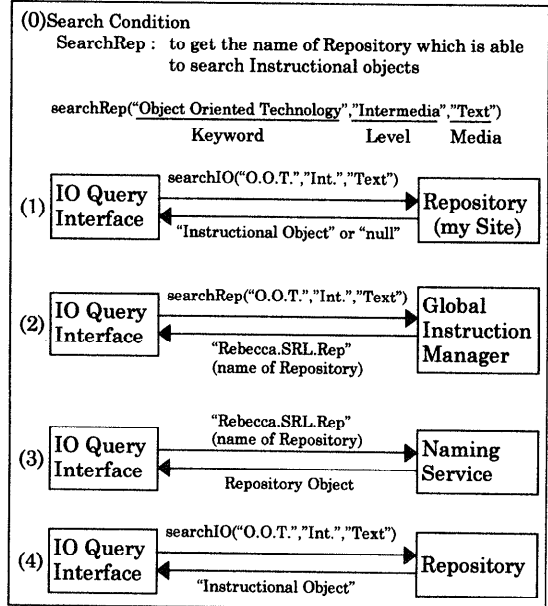
```

ObjectRef      obj;
NamingContextRef rootNC;
Joe            joe;
NameVomponent  name_myRep, name_gIIM, name_tarRep
RepositoryRef  myRep, targetRep;
GlobalIMRef    gIIM;
InstObjRef     io;

obj = joe.resolveInitReference("Nameservice");
rootNC = NamingContextStub.narrow(obj);
setName(name_gIIM, "Rebecca.GlobalIM");
obj = rootNC.resolve(name_mygIIM);
gIIM = GlobalIMStub.narrow(obj);

setName(name_myRep, "Rebecca.HIU.Rep");
obj = rootNC.resolve(name_myRep);
myRep = RepositoryStub.narrow(obj);
io = myRep.searchIO("Object Oriented Technology",
                   "Intermediate", "Text");
}
    
```

(a) Java ソースコード (抜粋)
(a) Java source code.



(b) 動作
(b) Mechanism.

図5 グローバル教材検索 Interface の動作例

Fig. 5 Java source code and mechanism of global instructional object query.

solve メソッドにより, Site 名 "Rebecca.SRL.Rep" に対応する Repository のオブジェクト ID を得る.

(4) IO Query Object は, 得たオブジェクト ID に対して教材検索を要求し, 条件にあった教材オブジェクトを得る.

5.3 Java による教材実行機構

Java を用いて Repository で管理している教材オブジェクトを Client に動的にロードし, 教材実行する方法を示す.

5.3.1 教材オブジェクトの構成

Repository で管理する教材オブジェクトのオブジェクト構成を, 図 6 に示す. 教材オブジェクトは, 教材種別ごとに, 教材 GUI オブジェクトと, 教材データを保持する. 教材 GUI オブジェクトは, GUI 部を Java で実装したものを Java でコンパイルした Byte コードを保持する. この GUI 部のオブジェクトは, 教材を開始する共通のインタフェースとして "start" を持つ. また, 教材オブジェクトは, Client 側で GUI 部を取得するために getGUIByteCode をインタフェースとして持つ. Java で書かれた GUI 部のオブジェクトは, "start" メッセージを受け取ると必要なデータを CORBA オブジェクトである IO Data オブジェクトから取得し, 教材の実行を行う.

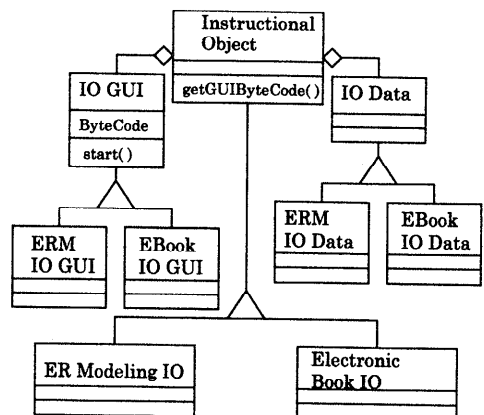


図6 分散環境に対応した教材オブジェクト構成
Fig. 6 Object model of instructional object for distributed environment.

5.3.2 教材オブジェクトの教材実行

CORBA オブジェクトで管理されている Java の Byte コードをロードして Java の Class を生成するために, Java の ClassLoader を継承した ClassLoaderFromCORBA を用意する. ClassLoaderFromCORBA は, 指定された CORBA オブジェクトから Byte コードをロードし, Class を生成する.

教材オブジェクト実行 Interface は, この ClassLoaderFromCORBA の機能を用いて, 教材オブジェクト

が管理している GUI 部の byte コードをロードし、対応する Java Class を生成し、その Class のインスタンスを生成する。この生成されたインスタンスが、教材オブジェクトの GUI 部である。Java の教材オブジェクトの GUI 部に、教材開始メッセージ “start” を送る。“start” メッセージを受け取った教材オブジェクトは、対応する CORBA の IO Data オブジェクトから教材データを受け取り、そのデータに基づき学習者に教材を提示したり、シミュレーション環境を提供したりすることにより、その教材に対する学習を進行する。質問やヒント要求があったときは、IO Data オブジェクトの教材知識を取得することにより、回答やヒントの表示を行う。

6. 考察

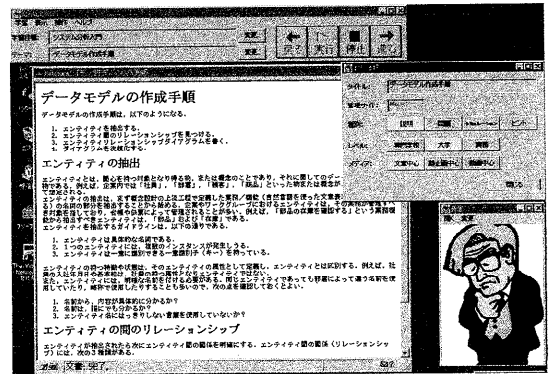
6.1 機能評価

分散学習システムとして総合的に評価するためには、分散した教材の組織化や教材の充実等が必要となるが、本論文の目的である「分散オブジェクト技術により分散した教材を統一的に学習者に提供できること」を確認するために、機能評価を中心とした評価実験を行った。評価実験は、大学と企業を想定した2つの Site でこのシステムを稼動させ、9人の被験者を対象に行った。評価の目的は、以下の2つを確認することである。

- 本システムにより分散した教材をシームレスに提供できる。
- 本システムにより、異なる種類（理論的なものや実践的なもの等）の教材により効果的な学習ができる。

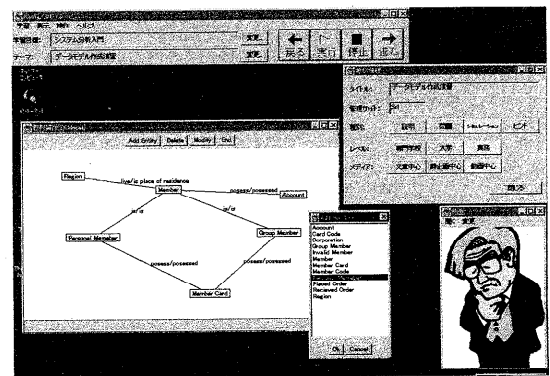
1つの Site のみで学習した場合と、異なる2つの組織の Site で本システムを稼動した場合を比較すれば、分散した教材の提供による学習への効果が評価できる。したがって、同じ被験者に対して、1つの Site (大学) のみの教材による学習と2つの Site (大学と企業) の教材による学習を実施した。対象にした教材は、高度情報処理教育の一部でデータモデルに関するものである。大学には、データモデルの定義や作成の指針等の教材を用意し、企業には、データモデルを実際に作成できるシミュレーション教材を用意した。

学習時の画面の一例を図7に示す。また、学習後のアンケートの結果を表2に示す。数値は、5段階評価の平均値を示す。アンケート(1)の結果から、分散した教材のシームレスな提供ができたことが分かる。また、(2)と(3)の結果から、本システムが大学と企業のそれぞれの特徴を生かした教材提供を行えたことが確認できる。結果(4)は、そのことが学習効果に好



(a) 論理的教材 (大学)

(a) Theoretical instructional object.



(b) 実践的教材 (企業)

(b) Practical instructional object.

図7 分散型学習システムの教材提示例

Fig. 7 Sample screen of instructional objects in distributed learning environment.

表2 評価実験におけるアンケート結果

Table 2 Result of questionnaire in a case study.

アンケート項目	1 site	2 sites
(1) 学習項目間に違和感はなかったか。	4.5	4.2
(2) この分野の理論的な学習ができたか。	3.5	3.7
(3) この分野の実践的な学習ができたか。	2.3	3.9
(4) この学習により理解は深まったか。	3.1	3.6

影響を与えていることを示唆している。この実験の結果、本システムが分散した教材をスムーズに提供できることが確認できた。

本実験を通じて、本システムは以下の特徴を有することが確認できた。

- 教授方略や学習者の意図で要求される教材を、分散された他の Site で管理している教材を対象に提供できる。
- 教材の管理が Server 側で一貫して行える。教材の GUI 部を動的に提供するので、教材の GUI 部

を学習者側で再インストールする必要がない。

- 学習する Site で未知の種別の教材も提供できる。したがって、いずれかの Site で教材が追加され、グローバル教材管理情報に登録されれば、すぐにその教材を利用できる。

6.2 CORBA と Java の効果

CORBA と Java を使って機能面では、以下のことが確認できた。

- CORBA で提供される OMG IDL を使って教材オブジェクトを定義し分散オブジェクトとして扱うことにより、異なる環境で開発された異なる種別の教材オブジェクトを統一的に扱うことができた。CORBA の異機種環境に存在するオブジェクトの統合化能力の有効性が確認できた。
- さらに、Java の Class の Mobile 性を利用することにより、異なる種別の教材オブジェクトを同一のインタフェースで取り扱うことにより、統一的な教材実行を実装することができた。
- Java は、マルチプラットフォーム対応であるので、学習者端末のマルチプラットフォーム化が容易に実現できる。今回は、学習者端末として Windows95 と OS/2 Warp4 で動作を確認できた。

また、開発面では次のような効果が確認できた。

- Java と CORBA を利用することにより、Client と Server がそれぞれ得意な環境で実装できかつ、オブジェクト指向のメッセージパッシングの方法でそれぞれのオブジェクトを利用できるため、それぞれの環境のプログラミング知識で十分開発が可能であった。本システムでは、Server 側にマルチメディアデータを格納するために、C++ 対応のオブジェクト指向データベースを使ったため、Server 側は C++ バインディングを用いた。また、Client 側は、Java バインディングである Joe (SOMJCL) を用いた。
- CORBA の OMG IDL を利用することにより、OMG IDL に従ったインタフェースが自動生成されるため、それに従ったプログラミングをすることにより、従来よくあった Client と Server の受渡し情報の食違いによる不具合が排除できた。

7. 関連研究

インターネットの普及によりインターネット上で動作する学習システムは数多く研究されている^{8)~11)}。たとえば、ELM-ART¹²⁾は、インターネットと知的 CAI システムを連携させることにより、Web ブラウザから知的 CAI を実行できるシステムを開発している。ま

た、Adverlearn Project¹³⁾では、協調学習や個人学習等のいくつかの種類の教材に対応した Web 上で動作するフレームワークを構築している。しかし、多くの研究は、独自で閉じた環境を想定しており、当研究で課題とした分散した教材を再利用することにより相互利用しようという研究は少ない。

CORBA を通信のインフラとして使っている学習システム¹⁴⁾では、CORBA の統合化能力等は有効に使われていない。一方学習システム以外では、データ交換のシステムにおいて CORBA を使ったフレームワークの開発例として DISCUS⁶⁾が報告されており、CORBA の異機種環境に分散されたオブジェクトを統一的に扱う統合化の能力が高く評価されている。

8. おわりに

CORBA を使った分散型の個人学習システムについて述べた。基本 CAI フレームワークをオブジェクト指向で開発していたため、CORBA による分散オブジェクト化による分散教材への拡張は、比較的スムーズに行えた。CORBA を使うことにより、異なる環境の教材を統一的に扱う枠組みを構成することができた。しかし、分散した教材の検索と異なる環境での学習実行は、CORBA で提供される技術だけでは実現できなかったため、CAI Interface を開発し、CAI 基本フレームワークに組み込んだ。CAI Interface 機能には、グローバル教材管理情報と Naming サービスによる分散教材の検索機能、Java と CORBA オブジェクトで実現した教材オブジェクトの動的実行機能を有しており、分散した教材を対象として学習者に応じた教材提供を行う分散型学習システムを実現した。また、本システムを 2 つの Site で稼働させ、分散した学習教材の学習者への提供を確認した。

現在、IEEE では、“P1484 Working Study Groups—Developing Technical Standards for Computer-Based Learning”²⁾と名づけられた学習情報の再利用を目的にした学習システムに関する標準化の作業が進んでいる。この成果を本システムに反映することにより、より広範囲な教材の再利用が期待できる。

謝辞 日頃からご指導いただいている図書館情報大学教授増永良文氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) Fuji, T., Tanigawa, T., Hoshihara, K. and Kozeni, M.: REBECCA: Distributed Development for Computer Aided Learning Systems based on a Repository, *Proc. CAEE'97 II*,

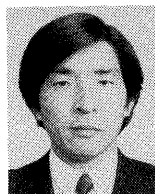
- pp.62-69 (1997).
- 2) Schoening, J.: P1484 Working and Study Groups (1997).
http://www.manta.ieee.org/p1484/.
 - 3) 富士 隆, 谷川 健, 星原健二郎: ハイパーフレームを用いた知的ハイパーフレームの開発, 1994年情報学シンポジウム講演論文集, pp.133-141 (1994).
 - 4) Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F. and Lorensen, W.: *Object-Oriented Modeling and Design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ (1991). 羽生田栄一 (監訳): オブジェクト指向方法論 OMT, トッパン (1992).
 - 5) Object Management Group: *The Common Object Request Broker: Architecture and Specification*, John Wiley & Sons (1995).
 - 6) Mowbray, T.J. and Zahavi, R.: *The Essential CORBA*, John Wiley & Sons (1995).
 - 7) Object Management Group: CORBA services: Common Object Services Specification (1996). OMG Document orbos/97-06-01.
 - 8) Fuji, T., Tanigawa, T., Iuni, M. and Saegusa, T.: A Collaborative Learning Support System for Systems Design, *IEICE Trans. Information and Systems*, Vol.E79-D, No.4, pp.363-372 (1996).
 - 9) Fuji, T., Tanigawa, T., Iuni, M. and Saegusa, T.: CAMELOT: Collaborative and Multimedia Environment for Learners on Teams, *Education and Information Technologies*, Vol.1, No.3, pp.203-226 (1996).
 - 10) Fuji, T., Tanigawa, T., Iuni, M. and Saegusa, T.: Using Case-Based Reasoning for Collaborative Learning System on the Internet, *IEICE Trans. Information and Systems*, Vol.E80-D, No.2, pp.135-142 (1997).
 - 11) 仲林 清, 小池義昌, 丸山美奈, 東平洋史, 福原美三, 中村行宏: WWWを用いた知的CAIシステム CALAT, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-D-II, No.4, pp.906-914 (1997).
 - 12) Brusilovsky, P., Shhwarz, E. and Weber, G.: ELM-ART: An Intelligent Tutoring System on World Wide Web, *Intelligent Tutoring Systems, Third International Conference, (ITS'96)*, Frasson, C., Gauthier, G. and Lesgold, A. (Eds.), pp.261-269, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (1996).
 - 13) Suthers, D. and the Advlearn Project: Distributed tools for Collaborative Learning and

Coached Apprenticeship Approaches to Critical Inquiry, *ITS'96 System Demonstrations* (1996).

- 14) 細谷克己, 加藤泰久, 川野辺彰久, 角田 進, 福原美三: マルチユーザ仮想空間を利用した協調学習環境の構成法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-D-II, No.4, pp.866-873 (1997).

(平成 9 年 9 月 29 日受付)

(平成 10 年 5 月 8 日採録)



谷川 健 (正会員)

1980年名古屋工業大学大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了。同年(株)エスシーシー入社。1991年より(株)学習情報通信システム研究所にて高度個別型学習情報通信システムの研究開発に従事。1998年3月より電子開発学園北海道電子計算機専門学校で衛星を利用した学習システムの研究開発に従事。人工知能学会会員。



富士 隆 (正会員)

1969年上智大学理工学部数学科卒業。同年安田生命保険(相)入社, 情報システムの企画, 開発, 管理に従事。1991年より(株)学習情報通信システム研究所で高度個別型学習情報通信システムの研究開発, 1998年より北海道情報大学で情報システム学の教育・研究に従事。工学博士。IEEE, ACM, 電子情報通信学会, 人工知能学会各会員。



三枝 武男 (正会員)

1943年旧制都立高等工業学校電気工学科卒業, 東京工業大学留学。都立工専教授, 都立大学講師, 防衛大学校電気教室教授を経て, 1988年名誉教授。1989年より北海道情報大学経営情報学部教授(学部長), 1998年学長。長年電子計測に関する研究を経て, 現在, 高度個別型学習情報通信システムの研究開発に従事。工学博士。IEEE, 電気学会, 電子情報通信学会, 計測自動制御学会, 応用物理学会等各会員。