

博士（人間科学）学位論文

Web ベース学習支援システムのための
拡張性を有するアーキテクチャ

An Extensible Architecture
for Web-Based e-Learning Systems

2006 年 7 月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

仲林 清

Nakabayashi, Kiyoshi

研究指導教員：永岡 慶三 教授

梗概

eラーニングには、コスト効率性と、学習環境や学習者に対する個別適応性という二つの相反する特徴がある。この相反する特徴を両立させるためには、単一のシステムで各種の機能拡張やカスタマイズに適応可能な柔軟な拡張性を有する eラーニングシステムアーキテクチャを開発することが重要である。本研究においては、WBT(Web-based Training)システム、および、オンラインテストシステムという二種の Web ベース学習支援システムを対象に、このような拡張性を有するアーキテクチャの検討、開発、実装を行った。さらに、システムアーキテクチャや技術標準化が産業を活性させるために果たしてきた役割という観点から eラーニング技術標準化の意義を検討し、その流れの中で、本研究の位置付け、今後の方向性の検討を行なった。

まず、従来の学習支援システムの課題から、Web ベース学習支援システムアーキテクチャを検討する際の要求条件として、「教材開発の容易化」、「機能のカスタマイズ、拡張の容易化」、「教材構成要素の流通・再利用」、「既存基盤技術との親和性」の 4 点を導いた。さらに、学習支援システムを、教材の内容を規定する教材定義、処理の実行を司るプラットフォームに加えて、Web ベース学習支援システムに必要な要素機能を実装した教材オブジェクトから構成し、教材オブジェクトの追加による柔軟な機能拡張を可能とすることで、これらの要求条件が満足される見通しがあることを示した。

さらに、この教材オブジェクトに基づく学習支援システムアーキテクチャというアプローチに基づき、WBT(Web-based Training)システム、および、オンラインテストシステムを実際に開発した。

WBT システムについては、木構造型の WBT 教材の各ノードに対応した教材オブジェクトを構成要素とし、教材オブジェクトクラスの追加によって、提示教材選択ロジックや画面生成ロジックのカスタマイズが容易に行えるアーキテクチャを考案した。教授戦略、ユーザインターフェースなどの機能を有する教材オブジェクトクラスを用意し、学習時には教材定義に従い、教材オブジェクトクラスをインスタンス化した教材オブジェクトインスタンスを実行する。複数の教材オブジェクトインスタンスが連携して動作するためのコマンド処理方式、WWW の対話型マルチメディア機能を組み込むための画面生成方式、および、オブジェクトの継承による機能拡張・カスタマイズ方式を規定した。本アーキテクチャをベースに複数種類の教材タイプが実装されており、数 100 本の教材が実用的に用いられている。

オンラインテストシステムについては、テスト処理を「出題選択」、「表示」、「応答」、「集約」の 4 つの処理要素に分割し、各々の処理要素を教材オブジェクトとして実装するアーキテクチャを考案した。教材オブジェクトを追加することによって、出題問題選択方法、問題形式、採点方法などのカスタマイズ・機能拡張が可能となっている。教材

定義には、テストデータデータの流通性・再利用性向上を図るため、IMS (IMS Global Learning Consortium, Inc.) によって開発された設問データと評価結果データに関する標準規格である QTI (Question and Test Interoperability) 規格を採用した。開発したシステムを医師国家試験の模擬試験に適用し、受験者、試験実施者に対するアンケートによって操作性、応答性などに関する実用性を確認した。

最後に、本研究で提案した教材オブジェクトに基づく学習支援システムアーキテクチャの意義と今後の方向性について、eラーニング技術標準化ないしは学習支援システムアーキテクチャが eラーニングの運営モデルないしビジネスモデルといった広い意味での学習環境に及ぼす影響という観点から論じた。IT化が社会活動の基盤となっている今日では、技術標準化が産業を活性化するために非常に重要な役割を担っていることが明らかになりつつあることに着目し、eラーニングにおいて技術標準化の果たすべき役割・付加価値の創造について考察を行った。eラーニングビジネスにおける英国 Open University の成長の事例が技術標準化による産業活性化のモデルに対応する可能性があること、本研究の位置付けからすると現状の eラーニング標準化技術はモジュール型の学習支援システムアーキテクチャのレベルにとどまっており、本研究で提案した教材オブジェクトに基づく学習支援システムアーキテクチャは次世代の eラーニング技術標準化の技術基盤となる可能性を有していることを示した。

関連発表論文

学術論文

- A1. 仲林 清, 小池義昌, 丸山美奈, 東平洋史, 福原美三, 中村行宏 (1997) WWW を用いた知的 CAI システム CALAT. 電子情報通信学会論文誌, **J80-D-II(4)**, 906-914.
- A2. 仲林 清, 永岡慶三 (2005) 拡張性向上のための教材オブジェクトアーキテクチャを用いた WBT システムの開発. 電子情報通信学会論文誌, **J88-D-I(6)**, 1104-1114.
- A3. 仲林 清, 中村明仁, 吉岡俊正, 相良貴子, 加賀田俊, 永岡慶三 (2006) 標準規格に準拠したオンラインテストシステム. 日本教育工学会論文誌, **29(3)**, 299-307.

著書

- B1. 仲林 清 (2001) インターネット上の教育システム. 教育システム情報学会 (編) 教育システム情報ハンドブック, 実教出版, 237-240.
- B2. 仲林 清 (2004) eラーニングとセキュリティ. 岡本敏男, 小松秀圀, 香山瑞枝 (編) eラーニングの理論と実際, 丸善, 277-296.
- B3. 仲林 清 (2005) e-Learning と標準化. 人工知能学会 (編) 人工知能学事典, 共立出版, 872-874.

その他

国際会議発表論文

- C1. Nakabayashi, K., Koike, Y., Maruyama, M., Touhei, H., Ishiuchi, S., and Fukuhara, Y. (1995) A distributed Intelligent-CAI System on the World-Wide Web. Proc. of the International Conference on Computers in Education 1995, 214-221.
- C2. Nakabayashi, K., Maruyama, M., Koike, Y., Fukuhara, Y., and Nakamura, Y. (1996) An Intelligent Tutoring System on the WWW Supporting Interactive Simulation Environment with a Multimedia Viewer Control Mechanism. Proc. of the WebNet 96.
- C3. Nakabayashi, K., Maruyama, M., Koike, Y., Kato, Y., Touhei, H., and Fukuhara, Y. (1997) Architecture of an Intelligent Tutoring System on the WWW. Proc. of AIED 97, 39-46.
- C4. Nakabayashi, K., Hoshide, T., Seshimo, H., and Fukuhara, Y. (1998) An Object-Oriented Architecture for a Web-based CAI System. Proc. of

ED-Media98, 995-1000.

- C5. Nakabayashi, K., Kubota, Y., Yoshida, H., and Shinohara, T. (2001) Design and Implementation of WBT System Components and Test Tools for WBT Content Standards. Proc. of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies 2001, 213-214.
- C6. Nakabayashi, K. (2004) e-Learning Technology Standardization —Make It Converge!! —. Proc. of the International Conference on Computers in Education 2004, Invited Speech, 33-39.
- C7. Nakabayashi, K., Nakamura, A., Kosaka, Y., and Nagaoka, K. (2005) Design and Implementation of a SCORM 2004 Execution Engine. Proc of the 2nd Joint Workshop on Cognition and Learning through Media-Communication for Advanced e-Learning 2005, 189-194.
- C8. Nakabayashi, K., Nakamura, A., Kosaka, Y., and Nagaoka, K. (2006) Design and Implementation of SCORM2004 Execution Engine and Its Performance Evaluation. Proc of the 2006 International Conference on SCORM 2004, 31-35.

学会誌解説記事

- D1. 仲林 清, 細谷克美, 福原美三 (1995) ネットワーク新時代における分散協調的学習支援環境. 人工知能学会誌, **10**(3), 368-372.
- D2. 仲林 清 (2001) LMS(Learning Management System)による統合型 e-Learning 環境の実現. 教育システム情報学会誌, **18**(3・4), 427-432.
- D3. 仲林 清 (2002) e-Learning の要素技術と標準化. 情報処理学会誌, **43**(4), 401-406.
- D4. 仲林 清 (2002) 教育支援システムの技術標準化動向. 人工知能学会誌, **17**(4), 465-470.
- D5. 仲林 清, 清水康敬, 山田恒夫 (2006) eLearning 標準化技術の開発と実践の新しい展開 —SCORM と LOM を中心に—. 人工知能学会誌, **20**(1), 92-98.

研究会発表

- E1. 仲林 清, 小池義昌, 丸山美奈, 東平洋史, 石打智美, 福原美三 (1994) WWW を用いた分散型知的 CAI システム. 人工知能学会研究会資料, SIG-IES-9403-1, 1-8.
- E2. 仲林 清, 木原洋一, 丸山美奈 (1998) WWW を利用した教育支援システム CALAT の現状と今後. 教育システム情報学会企業内教育研究部会研究報告, **98**(1), 10-15.
- E3. 仲林 清 (2000) ラーニングテクノロジーの標準化動向. 教育システム情報学会企業内教育研究部会研究報告, **2000**(2), 35-42.
- E4. 仲林 清 (2001) HRM 統合型 e-ラーニングを可能にする LMS. 教育システム情報学会企業内教育研究部会研究報告, **2001**(2), 19-23.

- E5. 仲林 清 (2003) e-ラーニング技術の標準化動向. 教育システム情報学会企業内教育研究部会研究報告, **18**(1), 11-18.
- E6. 仲林 清, 中村 明仁, 吉岡 俊正, 相良 貴子, 加賀田 俊 (2004) 標準規格に準拠したオンラインテストシステム. 教育システム情報学会研究報告, **19**(1), 83-88.
- E7. 仲林 清, 中村明仁, 小坂洋一, 永岡慶三 (2005) SCORM2004 実行エンジンの実装と課題. 教育システム情報学会研究報告, **20**(1), 23-30.
- E8. 仲林 清, 中村明仁, 星出高秀, 福原美三, 高橋数善, 堂下 恵 (2005) オープンソース LMS Sui²の構成と導入事例. 情報処理学会研究報告 教育学習支援情報システム研究グループ 第1回 CMS 研究会, 63-70.

全国大会発表

- F1. 仲林 清 (2001) 教育技術標準化の国際動向と SC36 の活動. 情報処理学会第 63 回全国大会, 標準化セッション(1)招待講演, 3-10.
- F2. 仲林 清 (2002) 教育支援技術の標準化と協調学習. 日本教育工学会第 18 回全国大会, 課題研究 (K-7) : 協調学習を支えるテクノロジー, 145-148.
- F3. 仲林 清 (2003) 学習コンテンツ技術標準化の動向. 教育システム情報学会第 28 回全国大会講演論文集, 1-2
- F4. 仲林 清, 中村明仁, 加賀田俊 (2004) QTI 規格に準拠したオンラインテストシステムの開発. 教育システム情報学会第 29 回全国大会講演論文集.
- F5. 仲林 清, 永岡 慶三 (2005) オンラインテスト技術の標準化. 日本テスト学会第 3 回大会発表論文抄録集, 40-41.
- F6. 仲林 清 (2005) e-ラーニング技術標準化の課題. 教育システム情報学会 30 周年記念全国大会講演論文集, 147-148.
- F7. 仲林 清, 中村明仁, 吉岡俊正, 相良貴子, 加賀田俊, 永岡慶三 (2005) 標準規格に準拠したオンラインテストシステムの開発. 日本行動計量学会第 33 回大会予稿集, 364-365.

講演など

- G1. 仲林 清 (2001) e-Learning 標準化の動向と ALIC の活動状況. 先進学習基盤協議会, 日本イーラーニングコンソシアム e-Learning Forum 2001 Summer, 2001/7/27, 東京.
- G2. Nakabayashi, K. (2001) Trends of Learning Technology Standard. 2001 IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Special Session: New Trends of Learning Technology: Contents, Collaboration, Application and Standards, 2001/8/24, Tokyo.

- G3. 仲林 清 (2001) Learning Technology における標準化. International Conference on Dublin Core and Metadata Applications 2001, Pre-Conference Special Session, 2001/10/24, 東京.
- G4. 仲林 清 (2001) e-Learning 標準化技術の開発動向. 先進学習基盤協議会, 日本イーラーニングコンソシアム e-Learning Forum 2001 Winter, 2001/12/11, 東京.
- G5. Nakabayashi, K. (2002) Japanese Activities in e-Learning Promotion and Standardization. IMS Global Learning Consortium Open Technical Forum, 2002/5/2, Boston.
- G6. 仲林 清 (2002) 相互運用性確立に向けた取り組み. 先進学習基盤協議会, 日本イーラーニングコンソシアム e-Learning Forum 2002 Summer, 2002/7/26, 東京.
- G7. Nakabayashi, K. (2002) Conformance Activities in Japan. IMS Global Learning Consortium Open Technical Forum, 2002/9/27, Sheffield.
- G8. 仲林 清, 高橋尚子, 徳畑香菜 (2002) SCORM A to Z. 先進学習基盤協議会, 日本イーラーニングコンソシアム e-Learning Forum 2002 Winter, 2002/12/2, 東京.
- G9. 仲林 清 (2003) 利用者のための e ラーニング標準化技術入門. 日本イーラーニングコンソシアム e-Learning Forum 2003 Summer, 2003/7/31, 東京.
- G10. Nakabayashi, K. (2003) e-Learning Initiatives in Japan. Seminar on e-Learning Initiatives in Malaysia, 2003/10/17, Kuala Lumpur.
- G11. 仲林 清 (2003) コンテンツ開発者のための SCORM1.3 入門. 日本イーラーニングコンソシアム e-Learning Forum 2003 Winter, 2003/12/2, 東京.
- G12. Nakabayashi, K. (2004) E-Learning Activities in Japan and Asian Region. Advanced Distributed Learning Initiative International Plugfest 1, 2004/2/17, Zurich.
- G13. 仲林 清 (2004) SCORM1.2 から SCORM2004 へ. 日本イーラーニングコンソシアム e-Learning Forum 2004 Summer, 2004/7/30, 東京.
- G14. Nakabayashi, K. (2004) Promotion of E-Learning Standards in the Asian Region. Aviation Industry CBT Committee Symposium, 2004/10/4, Bangkok.
- G15. 仲林 清, 林 雄介 (2004) SCORM2004 の基礎と実践. 日本イーラーニングコンソシアム e-Learning Forum 2004 Winter, 2004/12/8, 東京.
- G16. 仲林 清 (2005) アジアにおける e ラーニング標準化の取り組み —SCORM (Sharable Content Object Reference Model)の取り組みを中心に—. 日本工業標準調査会, (社)情報処理学会情報規格調査会, 教育システム情報学会 情報技術標準化フォーラム e ラーニングのグローバルな動向 —政策, 技術 そして 応用—, 2005/3/14, 東京.
- G17. Nakabayashi, K. (2005) Collaboration among repositories and referatories: Technical issues. メディア教育開発センタ NIME-R&D 研究会 Technologies for

- supporting collaboration among Learning Object repositories, 2005/5/9, 千葉.
- G18. 仲林 清 (2005) e ラーニング技術標準化の動向 —SCORM を中心に—. 電子情報通信学会データ工学研究専門委員会 (DE) 第二種研究会チュートリアル, 2005/11/4, 東京.
- G19. 仲林 清 (2005) 企業環境における OSS. 日本 e-Learning 学会学術講演会, オープンソースと e-Learning, 2005/11/19, 神戸.
- G20. 仲林 清 (2005) SCORM2004 の基礎. 日本イーラーニングコンソシアム e-Learning Conference 2005 Winter, 2005/12/1, 東京.
- G21. Nakabayashi, K. (2006) SCORM Promotion Activities in the Asian Region. Advanced Distributed Learning Initiative International Plugfest II, 2006/1/18, Taipei.

目次

梗概	i
関連発表論文	iii
第 1 章 はじめに	1
第 2 章 拡張性を有する Web ベース学習支援システムアーキテクチャの構成	5
2.1 諸言	5
2.2 Web ベース学習支援システムの機能と課題	5
2.2.1 Web ベース e ラーニングシステムの機能構成要素	5
2.2.2 Web ベース学習支援システム構成の課題	6
2.3 拡張性を有する Web ベース学習支援システムアーキテクチャ	8
2.3.1 用語の定義	8
2.3.2 学習支援システムに対する要求条件	8
2.3.3 教材オブジェクトに基づく Web ベース学習支援システムアーキテクチャ	9
2.3.4 教材オブジェクトに基づく学習支援システムアーキテクチャの課題	13
2.4 結言	14
第 3 章 モジュール型 WBT システム	15
3.1 諸言	15
3.2 システム実現上の課題	16
3.3 CAIRNEY	17
3.4 CALAT の構成と機能	18
3.4.1 全体構成	18
3.4.2 学習者識別機能	18
3.4.3 マルチメディアデータ転送表示機能	20

3.5	評価	25
3.5.1	学習者識別機能の評価	25
3.5.2	マルチメディアデータ転送表示機能の評価	27
3.6	関連研究	28
3.7	結言	28
第4章	教材オブジェクトに基づく WBT システム	29
4.1	諸言	29
4.2	WBT システムの構成と課題	29
4.2.1	CALAT の構成	30
4.2.2	WBT システムにおけるカスタマイズ要求とモジュール型 WBT の課題	32
4.3	設計方針	33
4.3.1	全体構成	34
4.3.2	コマンド処理方式	35
4.3.3	画面生成ロジック	39
4.3.4	カスタマイズ例	39
4.4	システムの実装	40
4.4.1	教材オブジェクト	40
4.4.2	WBT サーバ	42
4.4.3	教材オーサリングツール	42
4.4.4	システム動作環境	42
4.5	適用例	44
4.5.1	CALAT ネイティブ	44
4.5.2	SCORM1.2	44
4.5.3	対話型シミュレーション	46
4.6	関連研究	46
4.6.1	教育支援システム分野の関連研究	46
4.6.2	オブジェクト指向分野の関連技術	48
4.7	結言	48

第 5 章	教材オブジェクトに基づく Web ベーステスト ングシステム	49
5.1	諸言	49
5.2	テストシステムの課題と解決方針	49
5.2.1	テストシステムの課題	49
5.2.2	解決方針	50
5.3	QTI 規格	51
5.4	テスト実行形式のモデル化	52
5.5	システム検討	54
5.5.1	教材オブジェクトに基づくシステム構成	54
5.5.2	テスト実行形式と設問処理単位	56
5.5.3	結果評価機能	56
5.6	システム構成	57
5.6.1	各処理要素の実装	57
5.6.2	テスト実行制御	60
5.6.3	結果評価	60
5.7	実証実験	63
5.7.1	実証実験内容	63
5.7.2	性能の評価	64
5.7.3	QTI 規格の機能の評価	65
5.7.4	QTI 規格以外の機能	66
5.8	結言	66
第 6 章	拡張性を有する学習支援システム アーキテクチャ の意義と今後の役割	69
6.1	諸言	69
6.2	e ラーニング技術標準化の全体動向	70
6.2.1	分散リポジトリ	71
6.2.2	LD 規格	71
6.2.3	QA 規格	71
6.2.4	規格普及促進活動	72

6.3	SCORM	72
6.3.1	概要	72
6.3.2	SCORM 2004 のシーケンシング規格	73
6.3.3	SCORM 2004 の技術課題	76
6.4	技術標準化の意義	76
6.4.1	ユーザの利便性向上	76
6.4.2	競争の促進	77
6.4.3	標準化と研究の相互促進	77
6.4.4	産業構造の変化	78
6.5	教育における標準化の役割	81
6.5.1	標準化の普及状況	81
6.5.2	教育環境における破壊的イノベーションと標準化の役割	83
6.6	教材オブジェクトを用いた学習支援システムアーキテクチャの位置 付けと役割	85
6.6.1	e ラーニング技術標準化における位置付け	85
6.6.2	教育環境に及ぼす影響	90
6.7	結言	91
第7章	まとめ	93
謝辞	99
参考文献	101

目次

図 2.1	Web ベース学習支援システムの動作.....	5
図 2.2	一体型学習支援システムの構成.....	10
図 2.3	モジュール型学習支援システムの構成.....	11
図 2.4	教材オブジェクトを用いた学習支援システムの構成	11
図 3.1	CAIRNEY の構成.....	17
図 3.2	CALAT の構成.....	19
図 3.3	CALAT サーバの構成.....	20
図 3.4	学習者識別情報を含んだ URL	20
図 3.5	データ転送表示機能	22
図 3.6	クライアント画面例	24
図 4.1	CALAT の構成.....	31
図 4.2	提案システムの構成	35
図 4.3	カレントインスタンスと教材インスタンスのスコープ.....	36
図 4.4	次画面コマンドの処理.....	38
図 4.5	教材クラスの継承構成.....	41
図 4.6	教材オーサリングツール	43
図 4.7	CALAT 教材画面例	45
図 4.8	対話型シミュレーション	47
図 5.1	QTI 規格の構成	51
図 5.2	ASI 規格の構成.....	52
図 5.3	教材オブジェクトに基づくテストシステム構成	55
図 5.4	テストシステムの全体構成.....	57
図 5.5	表示処理の例.....	58
図 5.6	ASI ファイル記述と Java モジュールの対応	61
図 5.7	評価結果の表示例.....	62
図 5.8	動画を用いた設問の例.....	64
図 6.1	SCORM 規格の構成要素	73
図 6.2	SCORM 2004 シーケンシング処理の概要	74
図 6.3	シーケンシングの具体例	75
図 6.4	e ラーニングとインターネット技術	78
図 6.5	イノベータのジレンマ	79
図 6.6	標準化に対するベンダの考え方.....	82
図 6.7	共通機能の「抽出」	88

図 6.8 教育形態の分類.....	91
--------------------	----

表目次

表 2.1	WBT システムの機能構成要素	6
表 2.2	テストシステム機能構成要素	6
表 2.3	学習支援システム構成の比較	10
表 3.1	学習実験結果	25
表 3.2	アンケート結果	26
表 3.3	他のアンケート結果	26
表 3.4	データ転送表示時間	27
表 4.1	WBT コマンドの分類	37
表 5.1	テスト実行形式と各処理要素の設問処理単位	53
表 5.2	性能に関するアンケート結果	65
表 5.3	QTI 機能に関するアンケート結果	65
表 5.4	操作性に関するアンケート結果	66
表 6.1	IP 電話の事象と Open University の事象の比較	84
表 6.2	コンピュータシステムアーキテクチャと学習支援システムアーキテクチャの 進化の対比	87

第1章 はじめに

高等教育や企業内教育を中心に e ラーニングの普及が急速に進んでいる（先進学習基盤協議会 2003）。e ラーニング以前にも、コンピュータ技術を活用した教育研修という概念は古くから存在していたが（Wenger 1987, 溝口 1995）、インターネットをはじめとするインフラやマルチメディア技術の普及、学校教育改革の流れ、厳しい経済環境下での企業・社会人教育の必要性の増大、国家の IT 政策の中での教育・研修の重点化など、さまざまな要因が絡み合っ、e ラーニングという概念がクローズアップされてきている。

e ラーニングの効用、可能性は大きく三つの側面から捉えることができる（仲林 2001）。第一はコスト・効率の側面、第二は教育効果の側面、第三は組織内の他のアクティビティとの連携の側面である。

第一のコスト・効率の側面は、e ラーニングの最もわかりやすい効用としてしばしば指摘されてきた。例えば、教室に学習者を集めて行っていた教育研修を、インターネットを活用した WBT (Web-based Training) に置き換えれば、e ラーニングの有する Anytime, Anywhere の学習という特性が活かされ、

- 学習者数制限が無くなることによる一人当たりのコストの低減
- 講師の人件費や教室などの設備費の削減
- 企業内教育の場合、学習者を拘束することによる機会損失や、学習者の移動に伴う旅費、宿泊費の削減

などの効果が生じると考えられてきた。e ラーニングの導入実践が進んだ現在では、e ラーニングの実施には、教育内容・教材の企画設計、サーバの運用、メンタリング、ヘルプデスクなど、従来の教育形態では不要ないし小さかった部分のコストが必要であり、単純なコスト低減は難しいことが認識されてきている。しかし、従来はコスト的に不可能であった大量一斉型研修の実施や、時間・場所の制約が無くなることによる学習者の学習機会拡大は e ラーニングの本質的な効用と考えられる。

第二の教育効果の側面は、e ラーニングという教育形態がもたらした新しい価値・可能性といえるであろう。コンピュータネットワークを活用することにより、e ラーニングでは、学習者と講師、学習者同士の様々な形態のコミュニケーションが可能となっている。例えば、WBT による自己学習では、学習者は基本的には自己のペースで自主的に学習を進めるが、必要なときはいつでも講師に質問を発することができるし、一方、講師は学習者の進捗状況をモニタリングして、進捗が思わしくない学習者には適切な指導や動機付けを行うことができる。このように、WBT では、学習者の自己学習を主体に、講師との比較的疎で不定期な双方向コミュニケーションを織り交ぜて学習効果を高める工夫がなされている。このような学習形態により、一般により短い学習時間で従来型の集合教育と同程度の教育効果が得られることが示されてきている（先進学習基盤協議会 2003）。また、メール・掲

示板やチャット・共有アプリケーションなど各種の同期・非同期のツールを用いたコミュニケーション環境における協調学習も e ラーニングの効果的な学習形態のひとつとして定着しつつある(岡本 2000)。協調学習は、他学習者とのかかわり合いや共同作業を通じて、学習者が自ら主体的に知識を構成していく社会構成主義的な学習の実践形態として、今後さらに注目されていくであろう(三宅・白水 2003)。

第三の組織内の他のアクティビティとの連携の側面は、e ラーニングによる今後の新たな価値創出の形態ということができる。第一、第二の側面が、従来の教育研修の枠組みに e ラーニングという教育手法を持ち込むことによる新たな可能性の開拓、という性格のものだったのに対し、第三の側面は、組織の日常の活動と学習活動がより緊密に連携することによる価値の創出という性格を有する。例えば、EPSS (Electric Performance Support System) やインフォーマルラーニング(香取 2001) は、企業における業務活動の中で、IT を活用して必要なときにタイムリーに学習の機会を提供しようとするものである。このような学習形態において、知識源は予め設計された学習コンテンツに限定されず、業務に関連する様々な文献やドキュメント、そして、業務に関するノウハウや経験を有する他の従業員が知識の提供源となる。このように、組織において知識の流通を図る枠組みはナレッジマネジメントと呼ばれ、組織を構成する人々の間の知識の流通、創造を通じて、組織自体が成長、発展していくという、「学習する組織」という概念につながっていく(Hayashi et al. 2003)。

このように非常に広範な概念と可能性を有する e ラーニングであるが、いずれの場合にも、教育研修の効率や効果を IT の適用によって向上させる、あるいは、組織における教育・研修の位置付け・意味自体を IT との結びつきによって変革して行く、という点は共通しており、e ラーニングの実践において IT が重要な役割を果たすことは言うまでもない。e ラーニングにおいて IT の果たすべき役割は多種多様であり、ひとことで言い表すことは困難である。e ラーニングにおける IT の代表的な適用形態には、WBT のような非同期型学習、CBT (Computer Based Testing) のようなアセスメント、掲示板、共有アプリケーションなどの同期・非同期コミュニケーション、そして、それらを統合的に運用するための LMS (Learning Management System) がある。これらの学習形態を実現するには学習の実行だけでなく、教材を開発するためのオーサリング技術や学習結果の評価技術が必要となる。これらの技術の上位レイヤには教育工学や Instructional Design(ID)、企業内教育であれば Human Resource Development(HRD)などの領域が存在し、e ラーニングにおける IT の活用形態や要求条件はこれらの領域から、教育研修の効率や効果という観点によって規定される。一方、下位レイヤには、インターネット技術、マルチメディア技術などの領域が存在し、e ラーニングにおける IT システムは、これらの領域の技術で実現可能で、かつそれらの技術を最大限に活用したものになっている必要がある。

本研究では、冒頭に述べた e ラーニングの第一の側面、すなわちコスト・効率性の側面と、第二の教育効果の側面から、e ラーニングにおける IT システムのアーキテクチャの検

討を行ったものである。eラーニングにおけるITシステムにも上記のように様々な機能、形態のものが想定できるが、本研究ではWebベースの学習支援システムであるWBTシステムとテストシステムを対象としている。eラーニングによる各種の学習形態の中でも、WBTは非同期型の自己学習、テストは学習前後や学習途中の評価と、それぞれ重要な役割を有している。

WBTシステムとテストシステムの両者に共通するのは、いずれも、プラットフォームを用意しただけでは学習機能が成立せず、学習内容やテスト内容を表現したいいわゆる「コンテンツ」が必要となることである。コンテンツには、当然、教科に依存した学習内容の情報が含まれるが、それ以外に、学習内容の情報をどのように提示するか、提示された情報に対する学習者からの応答をどのように処理してさらに次の情報を提示するか、という動作を制御するための情報が含まれている必要がある。つまり、コンテンツとプラットフォームを合わせたものを、WBTシステムないしテストシステムと捉えたとき、教材作成者の有する、学習内容自体に関する意図と、その提示の制御に関する意図が、プラットフォームないしコンテンツのいずれかに実装されて実行されなくてはならない。

このようなシステムにおいて、コスト・効率性の面と教育効果の面から見たとき、コンテンツとプラットフォームの役割分担をどのように規定するか、プラットフォームのカスタマイズや拡張性をどのように実現するかは、非常に重要な課題となる。コンテンツを作成する際にあまりにも自由度の高いシステムは、教育効果の面では有利となるがコンテンツ作成コストは非常に高くなってしまうと想定される。一方、定型的なコンテンツしか作成、実行できなければ、コンテンツ作成コストは抑制できる可能性があるが教育効果を高める新たな手法を取り入れていくことは困難となる。以上のような背景から、本研究においては、WBTシステムとオンラインテストシステムに関し、カスタマイズのための拡張性を有するアーキテクチャの検討、開発、実装を行った。

また、このようなアーキテクチャの検討は、eラーニングシステムを構成する技術の標準化と密接に関係する。教育効果を追い求めるのであれば、システムアーキテクチャや標準化などの制約を一切設けないことが望ましいといえる。しかし、一定のコストの制約の元で、ある水準を満たす教育コンテンツやサービスを継続的に提供するためには、eラーニングシステムや運営に関してなんらかの「標準」を導入していく必要があると考えられる。そこで、本研究では、一般的な技術標準化が産業の活性化に果たしてきた役割を概観し、これに基づいてeラーニング技術標準化の役割を検討し、その流れの中で、本研究の意義と今後の方向性の位置付けを行った。

次の第2章では、このような拡張性を有するWebベースの学習支援システムアーキテクチャを検討するうえで共通する課題と、新たに考案した教材オブジェクトに基づくアプローチについて述べる。第3章では、まず、従来型のWBTシステムについて、Web環境において個人適応型学習機能を実現する上での技術課題と解決策、具体的なシステムの実装を示す。第4章では、新たに提案する教材オブジェクトに基づくWBTシステムについて、

木構造型の WBT 教材の各ノードに対応した教材オブジェクトを構成要素とするアーキテクチャ，このアーキテクチャにおける，教材オブジェクトの連携方式，WWW の対話型マルチメディア機能を組み込むための画面生成方式，および，オブジェクトの継承による機能拡張・カスタマイズ方式に関して説明する．さらに，第 5 章でオンラインテストシステムについて，テスト処理を「出題選択」，「表示」，「応答」，「集約」の 4 つの処理要素に分割し，各々の処理要素に対して教材オブジェクトを追加することによって，出題問題選択方法，問題形式，採点方法などのカスタマイズ・機能拡張が可能なアーキテクチャを説明する．第 6 章で，本研究の意義と今後の方向性について，技術標準化との関わりの観点から考察し，本研究で提案した教材オブジェクトに基づく学習支援システムアーキテクチャが，次世代の e ラーニング技術標準化の技術基盤となる可能性を有していることを示す．

第2章 拡張性を有する Web ベース学習支援システムアーキテクチャの構成

2.1 諸言

本研究で対象とする WBT システムやオンラインテストシステムなどの Web ベース学習支援システムのアーキテクチャを検討するうえで共通する課題と構成方針について述べる。はじめに、WBT システムやオンラインテストシステムの機能と拡張性を検討する上の課題を示す。次にこの課題を踏まえて、拡張性を有する Web ベース学習支援システムを構成するための基本的な方針を検討する。

2.2 Web ベース学習支援システムの機能と課題

WBT システムやオンラインテストシステムなどの Web ベース学習支援システムの機能を、学習実行時の動作の実現と教材作成という観点から検討し、拡張性を有する Web ベース学習支援システムを検討する上での課題を抽出する。

2.2.1 Web ベース e ラーニングシステムの機能構成要素

WBT システムやオンラインテストシステムなどの Web ベース Web ベース学習支援システムの学習実行時の動作は以下ようになる。図 2.1 にこの様子を示す。

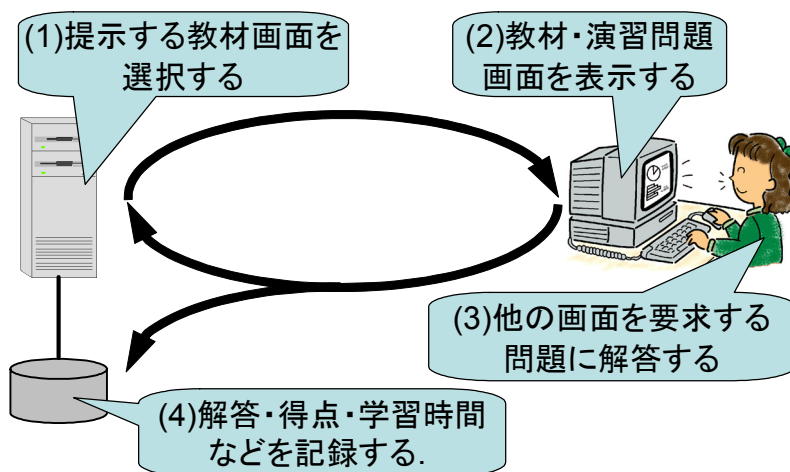


図 2.1 Web ベース学習支援システムの動作

- (1) システムが、学習者のそれまでの学習履歴や学習状況をふまえて、次に学習者に提示する教材画面や演習問題画面を決定する。
- (2) 学習者に教材画面や演習問題画面が提示される。

(3) 学習者が教材画面の閲覧や演習問題の解答を終え、次の画面を要求する。

(4) システムは、学習時間、解答、得点などを記録し、(1)に戻る。

この動作を実現するために機能的にどのような構成要素が必要となるかを考えてみる。

WBTシステムで教材画面や演習問題画面を学習者の要求に応じて次々に提示するような場合、表 2.1 のような構成要素が必要となるであろう。また、テストシステムや WBT システムにおける演習問題の出題と採点を例にとると、表 2.2 のような構成要素が必要となるであろう。

表 2.1 WBT システムの機能構成要素

項番	構成要素	説明
1	教材内容	テキスト、画像、音声、画面制御情報、など
2	教材構造	章立てなど目次に相当するもの
3	学習順序関係	教材構造の中での章の間の前提条件など
4	学習者適応機能	学習者の学習履歴や学習状況をふまえて次に提示する教材画面の順番や内容を決める機能
5	表示機能	教材画面の表示を行う
6	履歴記録機能	学習履歴を記録する

表 2.2 テスティングシステムの機能構成要素

項番	構成要素	説明
1	演習問題内容	テキスト、画像、音声、画面制御情報、など
2	正答	演習問題の正答
3	評価採点	演習問題の評価採点方法
4	出題選択	提示する演習問題の順番や内容を決める機能。過去の出題状況や学習者の解答状況をふまえて決定する場合もある
5	表示・入力機能	演習問題画面の表示や解答入力を行う機能
6	履歴記録機能	出題採点結果を記録する

2.2.2 Web ベース学習支援システム構成の課題

前節に示した Web ベース学習支援システムの構成要素のリストは、先頭のものほど教材自体や演習問題自体の内容に深く依存する物で、後ろのものほど教材や演習問題の内容に

対して依存度の低い汎用的な機能となっている。初期の WBT システムや CDROM で配布される CAI 教材などでは、これらの構成要素を明確に区分せずに一体の教材として開発する例も見られた (Kay & Kummerfeld 1994)。このような一体型の構成では教材ごとに機能を自由にカスタマイズできる。しかし、教材作成に機能ロジック開発のスキルが必要となり、教育現場で多数の教材を効率的に開発することはできない。これでは、多くの教材を低コストで効率よく用意することができず、e ラーニングの本来の目標が達成できなくなってしまう。

このような問題を解消するために、WBT システムやテストシステムを、教材ごとのコンテンツ部分と教材に共通なプラットフォーム部分に分離したモジュール型の構成を採り、専用のオーサリングツールを用意して教材作成の容易化を図ることが考えられる。近年の WBT システムやテストシステムではこのような構成をとることが多く、Web ベース学習支援システムに関する標準規格もこのような構成を前提として、コンテンツ部分のフォーマットやコンテンツ部分とプラットフォーム部分のインターフェースを標準規格化している (Fallon & Brown 2003, 仲林 2002a, 仲林 2002b)。また、学習者適応機能を提供する場合、プラットフォーム部分は、さらに教授戦略、学習者モデル、ユーザインターフェースのモジュールから構成することが一般的である (溝口 1995)。

それでは、このようなモジュール型の構成を採る場合、どこまでコンテンツで、どこからプラットフォームの機能とすれば良いであろうか？表 2.1, 表 2.2 の構成要素のリストは、先頭のものほど教材自体や演習問題自体の内容に深く依存し、後ろのものほど教材や演習問題の内容に対して依存度の低い汎用的な機能となっている。言い換えれば、WBT システムやテストシステムを、教材ごとのコンテンツと、すべての教材に共通なプラットフォームから構成することを考えた場合、先頭の方のものをコンテンツで、後ろの方のものをプラットフォームで実装することが自然な選択となる。では、中間的な部分の構成要素はどうすれば良いであろうか？

表 2.1 の WBT の機能構成要素の場合、項番 1 の教材内容、2 の教材構造、3 の学習順序関係がコンテンツで規定されるべきものであることは異論のないところであろう。では、項番 4 以降はどうであろうか？学習者適応機能は、教授戦略と学習者モデルとしてプラットフォーム側で実装する機会が多い (溝口 1995)。5 の表示機能や 6 の履歴記録機能もプラットフォーム側で実装する機会がほとんどであろう。また、このようになっていなければ、そもそもシステムをコンテンツとプラットフォームに分離したモジュール型の構成を採る意味が無く、システム全体を教材ごとに作成するのと変わらなくなってしまう。

では、このように学習者適応機能、表示機能、履歴記録機能をプラットフォーム側の機能として作り込んでしまっただけで問題は生じないであろうか？システム設計時に、必要な機能要素がすべて抽出することが可能であればこのような構成でも問題はない。しかし、プラットフォームが完成して、多数のコンテンツを作成し、実際の運用を開始してから、機能拡張やカスタマイズの要求が生じることは多々起こりうる。プラットフォームの改造でこ

のような機能拡張やカスタマイズ要求に対応できる場合はよいが、これらの要求が新たな教材に依存するもので、既存の教材で求められる機能と相反するものであることも起こりうる。このような場合はプラットフォームの改造自体が不可能となり、新たな教育効果を得るための機能追加要求に応えるには、最悪、システム自体の再設計が必要ということになってしまう。

同様の問題は、表 2.2 のテストシステムでも生じる。項番 1 の演習問題内容、2 の正答がコンテンツで規定されるべきものであることは異論のないところであろう。では、項番 3 の評価採点はどうかであろうか？一般のテストシステムでは、正誤判定は正答と学習者の解答との完全一致判定によって行われるため、評価採点方法はプラットフォームの機能として固定されている場合が多い。しかし、問題の形式によっては単純な完全一致以外の方法で評価を行いたいという要求も存在する。例えば、英単語を並べ替えて文章を作成するような問題では、完全な正解でなくでも解答によってはある程度の得点を与えたい、というような要求が有りうるであろう。そして、このように演習問題の内容や形式に依存した要求は、出問選択、表示・入力、履歴記録の各機能についても生じる。このような演習問題の内容や形式に依存した新たな機能追加要求を、プラットフォーム設計時にすべて想定しておくことは非常に困難であり、プラットフォーム自体の再設計、再実装を行わない限り対応は不可能、という事態が起こりうる。

2.3 拡張性を有する Web ベース学習支援システムアーキテクチャ

前節に示した課題をふまえて、拡張性を有する Web ベース学習支援システムを構成するための基本方針を検討する。

2.3.1 用語の定義

ここまで、教材、コンテンツ、プラットフォームなどの用語をあまり明確に定義せずに使ってきたが、ここで定義しておく。

まず、表 2.1, 2.2 に示したような学習支援システムの構成要素を全て包含したものを教材と呼ぶ。教材は学習支援システムの全機能を有するものである。教育内容に関する異なる要求仕様ごとに、教材内容、教材構成、演習問題内容などが異なる教材が存在する。

次に教材の構成要素のうち、教育内容に依存して教材ごとに異なる部分をコンテンツと呼ぶ。コンテンツは、流通・再利用の対象となる。また、教材の構成要素のうち、多くの教育内容に比較的共通な汎用的な部分をプラットフォームと呼ぶ。ただし、2.2.2 で述べたように、コンテンツとプラットフォームの境界をどのように設定すればよいかは必ずしも明確ではない。

2.3.2 学習支援システムに対する要求条件

WBTシステムやオンラインテストシステムのような学習支援システムに対する要求条件を整理すると以下のようなになる。

(1) 教材開発の容易化

教材を、教育内容に直接依存する部分を含むコンテンツと、依存度の比較的低い汎用的な機能を実装したプログラムロジックからなるプラットフォームに分離し、教材作成者は専用のオーサリングツールを用いてコンテンツを作成するだけで、プログラミングの知識がなくても容易に教材開発が行えるようにする。これによって教材開発の低コスト化・効率化を図る。

(2) 機能のカスタマイズ、拡張の容易化

教材ごとに必要な機能が最初のプラットフォーム設計時にすべて確定できるわけではなく、むしろ、運用開始後に新たな教育内容や教育効果に関する要求仕様が現れることを当初から想定して、機能のカスタマイズや拡張が可能なアーキテクチャを採用する。これによって、新たな教育内容や教育効果を実現するための機能追加が、当初に開発したプラットフォーム自体の再設計を行わず、既存のコンテンツの動作に影響を与えずに、低コストでシステムティックに行えるようにする。

(3) 教材構成要素の流通・再利用

本研究で対象とする WBT システムやテストシステムでは、コンテンツは非常に貴重な資源である。したがって、ある人が作成したコンテンツを他の人が自分のプラットフォーム上で使用したり、コンテンツの一部を他の教材に組み込んで再利用することが容易に行えることが望ましい。また、このような流通・再利用を可能とするためには、(2)で実現した追加機能を実現する構成要素もコンテンツに伴って流通・再利用されなくてはならない。

(4) 既存基盤技術との親和性

第1章で述べたように、eラーニングシステムの下位レイヤには、インターネット技術、マルチメディア技術などの領域が存在する。従って、ここで述べた要求条件は、これらの領域の技術で実現可能でなくてはならない。Web ベース学習支援システムの場合は、既存の Web 技術で実現可能でなくてはならない。

2.3.3 教材オブジェクトに基づく Web ベース学習支援システムアーキテクチャ

前節で整理した要求条件をふまえて、本研究で提案する Web ベース学習支援システムアーキテクチャのアプローチについて述べる。

表 2.3 に、従来の一体型、モジュール型、および、本研究で提案する eラーニングシステムの構成について、eラーニングの構成要素がどの部分に実装されるかという観点からの比較を示す。ここでは、表 2.1, 2.2 に示した各構成要素のほかに、これらの要素を連携させて動作させるために必要な機能要素も考え、これを「各構成要素の連携機能」と表す。また、図 2.2, 図 2.3, および、図 2.4 にこれらの eラーニングシステムの構成を示す。これらの図表で網掛けの部分は、2.3.1 で定義したコンテンツ、すなわち、教育内容に依存して教材ごとに異なる部分であり、かつ、流通・再利用の対象となるものを表す。

表 2.3 学習支援システム構成の比較

WBT システム の構成要素	テストイング システムの 構成要素	一体型	モジュール型	教材 オブジェクト型
教材内容 教材構造 学習順序関係	演習問題内容 正答	教材	コンテンツ	教材定義
学習者適応機能 表示機能 履歴記録機能	評価採点 出問選択 表示・入力機能 履歴記録機能		プラット フォーム	教材 オブジェクト
各構成要素の 連携機能	各構成要素の 連携機能			プラット フォーム

■ は、教育内容に応じて異なる部分で、流通・再利用の対象となるもの（コンテンツ）を示す。

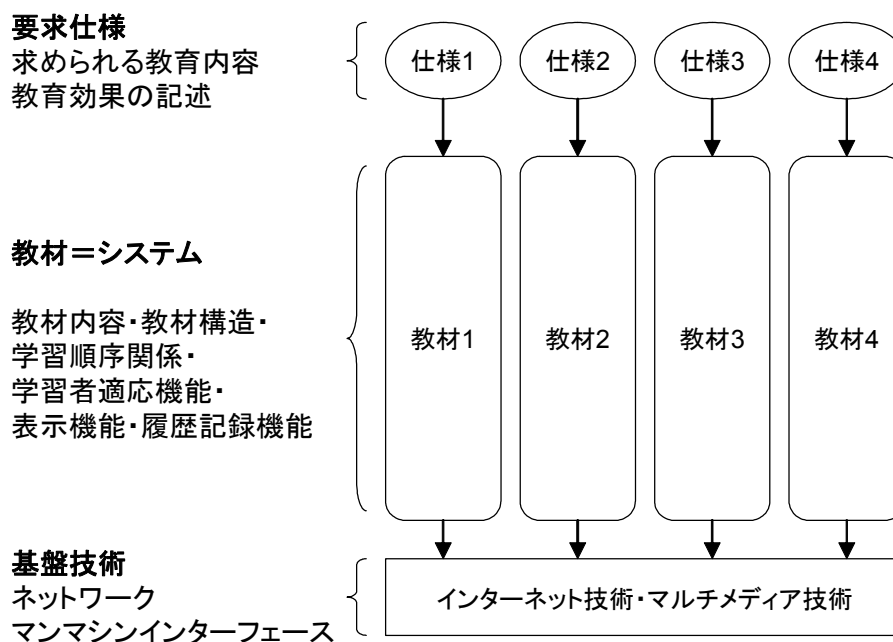


図 2.2 一体型学習支援システムの構成

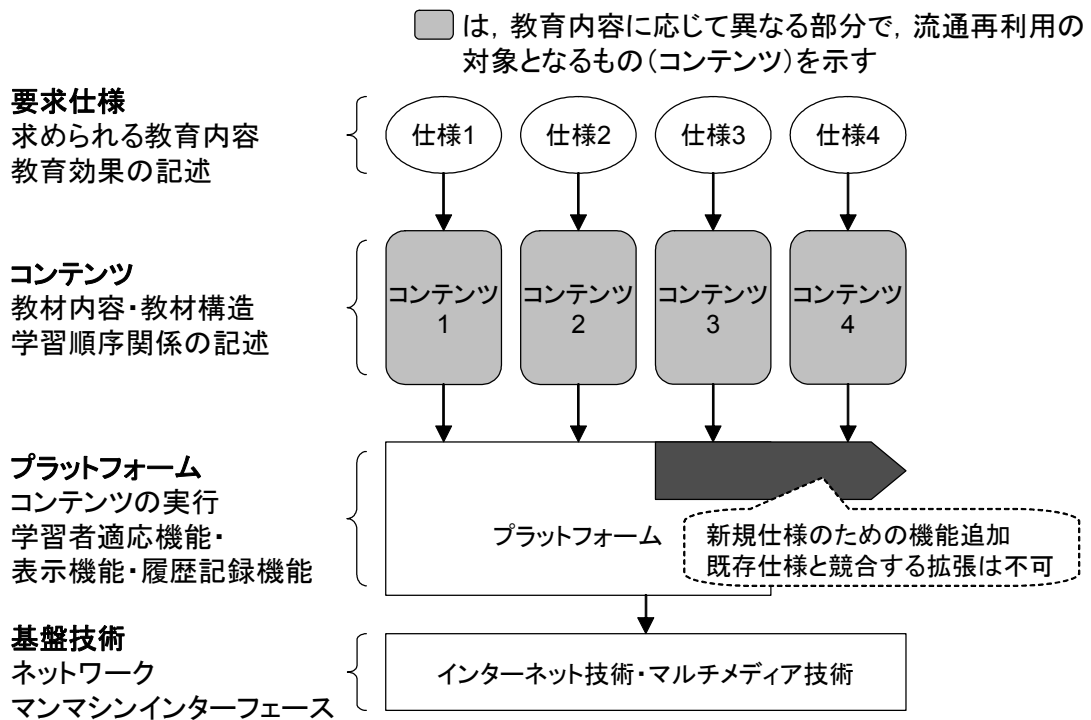


図 2.3 モジュール型学習支援システムの構成

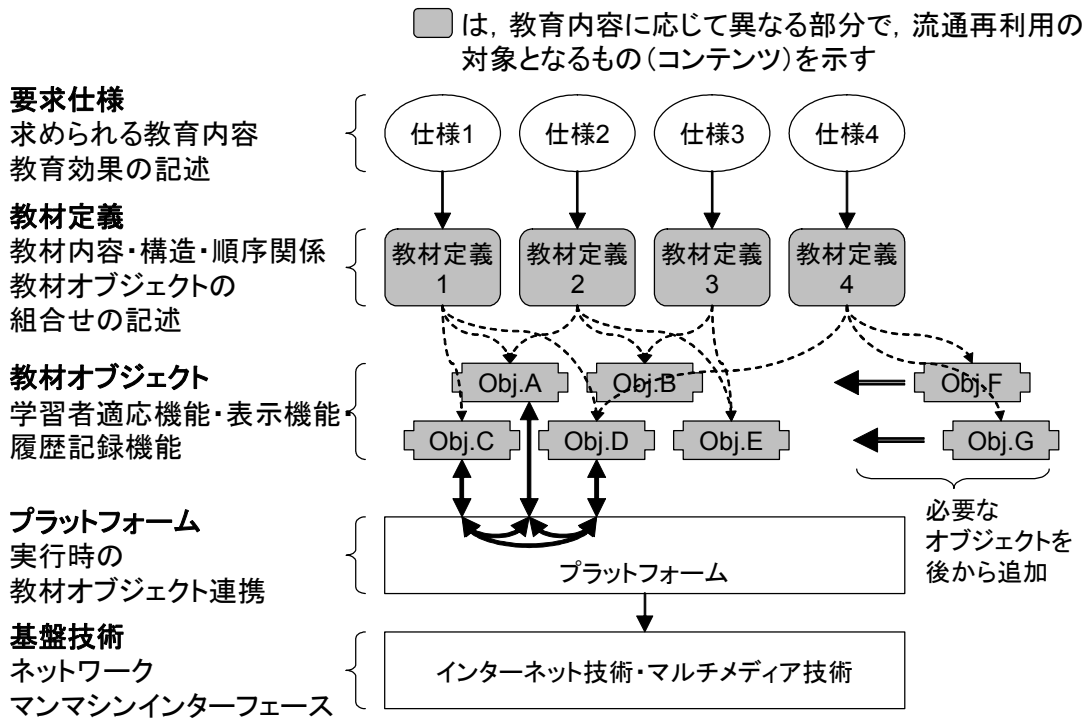


図 2.4 教材オブジェクトを用いた学習支援システムの構成

一体型構成では、表 2.3 のように、e ラーニングシステムの構成要素をすべて一体として包含した「教材」が開発される。図 2.2 に示すように、異なる要求仕様ごとに個別の教材を開発するため、機能を実現する上での制限は少ないが、教材作成に機能ロジック開発のスキルが必要となり、多数の教材を効率的に開発することはできない。また、開発された教材は基本的に単一の目的にしか利用できず、流通・再利用の対象とはならない。

モジュール型構成では、表 2.3 に示すように、一体型構成における教材が「コンテンツ」と「プラットフォーム」に分離される。一般的に、WBT システムの場合であれば、教材内容、教材構造、学習順序関係などの構成要素がコンテンツに含まれ、学習者適応機能、表示機能、履歴記録機能などがプラットフォームに含まれる。テストシステムの場合であれば、演習問題内容、正答などがコンテンツに、評価採点、出問選択、表示・入力機能、履歴記録機能などがプラットフォームに含まれる。さらにプラットフォームには各構成要素を連携させるための機能が含まれている。図 2.3 に示すように、プラットフォームは各教材に対して共通である。要求仕様に合わせたコンテンツを、オーサリングツールを用いて作成することで教材開発の容易化が図られる。しかし、プラットフォーム設計時に想定していなかった新規の要求仕様が与えられて、プラットフォームの機能拡張が必要になった場合、新規仕様を満たすためにプラットフォーム全体の再設計が必要になったり、既存の教材と新規機能の競合が生じて既存教材が動作不能になる、といったことが生じうる。これは、「コンテンツ」と「プラットフォーム」を分離する際に、本来教育内容に応じて可変とすべき構成要素の一部を、プラットフォーム側の固定的な機能として恣意的な基準で作り込んでしまっているためである。

このような問題点に対して、本研究で提案する「教材オブジェクト型」のアプローチを図 2.4 に示す。このアプローチでは、表 2.3 に示すように、モジュール型構成におけるプラットフォームは、教材オブジェクトとプラットフォームに分離される。これに、従来のモジュール型においてコンテンツが担っていた役割を受け持つ教材定義を加えて、システム全体が構成される。各々の構成要素の役割は以下ようになる。

- 「教材オブジェクト」には、表 2.3 に示すように、従来のモジュール型構成の場合、プラットフォームに実装されていた、学習者適応機能、評価採点機能、表示機能などが実装される。図 2.4 に示すように、これらの機能を実装した複数の教材オブジェクトが連動して動作する。後から機能の追加が必要になった場合は、その機能に必要な教材オブジェクトを追加し、既存の教材オブジェクトと組み合わせて全体の要求仕様を満たすようにする。教材オブジェクトは、教育内容に応じて教材ごとに可変な部分であり、コンテンツの一部となる。
- 「教材定義」は、表 2.3 に示すように、モジュール型構成においてコンテンツに記述されていた教材の内容や構造を記述する。この他、教材定義には図 2.4 に示すように、要求される仕様を満たすために、どの教材オブジェクトを組み合わせて実行すればよいか記述されている。教材作成者は、モジュール型構成の場合と同様、オーサリン

グツールを用いて教材定義を作成すればよく、教材オブジェクトの内部の詳細に立ち入る必要は無い。

- 「プラットフォーム」の役割は、図 2.4 に示すように、教材定義に従って、学習実行時に複数の教材オブジェクトを連携して動作させることである。例えば、学習者適応機能教材オブジェクトの出力を、表示入力機能教材オブジェクトに送り、さらに、学習者が表示入力機能教材オブジェクトに入力した解答を評価採点機能教材オブジェクトに送る、といった制御はプラットフォームが実行する。モジュール型におけるプラットフォームと異なり、教育内容に依存すると想定される機能は含まれない。

以上のような構成で、2.3.2 に示した学習支援システムに対する要求条件がどのように満たされているかを示す。

(1) 教材開発の容易化

既存の教材オブジェクトの組合せで実現可能な仕様の教材を作成する限り、教材作成者は、オーサリングツールを用いて教材定義を作成すればよい。これは、従来のモジュール型構成におけるコンテンツ作成と同様であり、教材作成において、教材オブジェクトやプラットフォームの内部のプログラムロジックに立ち入る必要は無い。

(2) 機能のカスタマイズ、拡張の容易化

新たな教育内容や教育効果を実現するための要求仕様が与えられて、既存の教材オブジェクトの組合せではその仕様を実現できない場合は、新たな教材オブジェクトを開発して機能拡張を行う。このとき、新たな教材オブジェクトはシステム全体には影響を与えず、既存の教材はそれまでと同様、既存の教材オブジェクトの組合せによって実行される。したがって、新規の要求仕様を実現する場合でも、モジュール型構成のように、プラットフォーム全体の再設計が必要になったり、既存の教材と機能の競合が生じたりすることがない。

(3) 教材構成要素の流通・再利用

流通・再利用の際には、教材定義とともに、そこで使用されている教材オブジェクトと一緒に扱うことで、新たに追加された機能も教材とともに流通することができる。

以上のように、教材オブジェクトを用いるアプローチにより、既存の学習支援システムの問題点が解決される見通しが得られた。

2.3.4 教材オブジェクトに基づく学習支援システムアーキテクチャの課題

教材オブジェクトを用いるアプローチを実際の学習支援システムに適用する際の課題について考察する。

第一に、教材オブジェクトへの機能の割り当てをどのように定めればよいか、という課題が存在する。このアプローチでは、学習支援システム全体で必要とされる機能を複数の教材オブジェクトの組み合わせで実現する。このとき、教材オブジェクトへの機能の割り当てが不適切で、教材オブジェクトのサイズが大きすぎたり、教材オブジェクト間の依存関係が強いと、新たな要求仕様を実現する際に、既存の教材オブジェクトの再利用ができ

ず、ほとんどすべての教材オブジェクトを新規に開発することになってしまう。

第二に、教材オブジェクト間の連携をどのように実現すればよいか、という課題が存在する。複数の教材オブジェクトを連携させるためには、教材オブジェクトの起動順序の制御、教材オブジェクト間のインターフェースやデータの受け渡しの方法を定めなければならない。2.3.2 に示した 4 番目の要求条件のように、教材オブジェクト間の連携が既存基盤技術で適切に実現できなければ、本アプローチの目的を達することはできない。

一般的に、第一の課題から、教材オブジェクトの再利用性を高めるためには教材オブジェクトのサイズを小さくすることが望ましいと考えられる。一方、第二の課題から、教材オブジェクト間のインターフェースの複雑度を抑制するためには教材オブジェクトのサイズが極端に小さいことは望ましくないと考えられる。

しかし、以上二つの課題に対して、教材オブジェクトを設計するための具体的で汎用的な設計指針は存在せず、対象とする e ラーニングシステムが想定する教材の構造や提供する機能から個別に適切な設計指針を定めていく必要があると考えられる。そこで、本研究では、WBT システムおよびテストシステムについて、教材オブジェクトの適用という共通のアプローチをふまえつつ、それぞれについて、拡張性を向上させるためのアーキテクチャの検討を行っていく。

2.4 結言

拡張性を有する Web ベース学習支援システムを構成するための基本的なアプローチについて述べた。本研究で対象とする WBT システムやオンラインテストシステムなどの学習支援システムに共通する課題を示し、これから、学習支援システムアーキテクチャを検討する際の要求条件として、

- (1) 教材開発の容易化
- (2) 機能のカスタマイズ、拡張の容易化
- (3) 教材構成要素の流通・再利用
- (4) 既存基盤技術との親和性

の 4 点を導いた。さらに、学習支援システムを、プラットフォーム、および、従来のコンテンツに相当する教材定義に加えて、新たに導入した教材オブジェクトから構成することで、これらの要求条件が満足される見通しがあることを示した。

以下の章で、具体的な Web ベース学習支援システムの設計と開発について述べる。まず、次の第 3 章では従来型のモジュール型構成の WBT システムについて、Web 環境において個人適応型学習機能を実現する上での技術課題と解決策、具体的なシステムの実装を示す。第 4 章では、このモジュール型構成の WBT システムの問題点の解決を図った、教材オブジェクトに基づく WBT システムについて述べる。第 5 章では、同様に、教材オブジェクトの適用により拡張性の向上を図った Web ベーステストシステムについて述べる。

第3章 モジュール型 WBT システム

3.1 諸言

メール・ニュースなどのノンリアルタイムなコミュニケーションツールやビデオ会議のようリアルタイムコミュニケーションツールを教育の場で活用しようという試みは従来から数多く行なわれてきた。一方、インターネットの普及に伴って注目を集めてきたのが World-Wide Web (WWW) である (Berners-Lee et al. 1994)。WWW は分散ハイパーテキストモデルにより、誰でもが簡単にマルチメディア情報を検索・発信できる環境を提供している。また、

(1) マルチメディア通信プロトコル

(2) 多機種で動作するデータブラウザ

(3) プロキシサーバやブラウザでのデータキャッシングによるデータアクセスの効率化など汎用マルチメディアプラットフォームとしての特徴も有する。

このように優れた特徴を持つ WWW を教育に応用しようという試みも多く提案されている (Goldwin-Jones 1994, Davis et al. 1994, Robertson et al. 1994)。しかし、WWW で提供可能な教材は基本的に受動的なハイパー“テキスト”であり、学習者の状況に応じてシステム側が提示する教授内容を能動的に選定する個人適応機能はこれらの提案の中では実現されていない。

ところで従来より個人適応機能を有するマルチメディア ITS (Intelligent Tutoring System) シェルを開発し、CD-ROM ベースの教材を作成して教育に適用する試みが行われていた (Fukuhara et al. 1995)。このような CD-ROM ベースのシステムには以下のような問題点がある。

- 媒体の作成・配布に非常に手間がかかり、内容をタイムリに更新して最新の教材を末端の学習者にまんべんなく行き渡らせることは非常に困難である。
- スタンドアロンのパソコンで利用されるため学習結果の集約管理が困難である。
- 個人適応機能の効果を十分に発揮するためにはシステムが学習者に提示可能な教授素材の選択範囲が大規模であることが望ましいが、CD-ROM では必ずしも十分とはいえない。

本章では、WBT システム CALAT (Computer Aided Learning and Authoring environment for Tele-education) (Nakabayashi et al. 1995) について述べる。CALAT は WWW の汎用マルチメディアプラットフォームとしての特徴を活用したネットワーク型の個人適応学習環境を実現することを狙いとしたシステムである。CALAT は、WWW サーバに置いた ITS シェルに学習者がクライアント端末からアクセスする構成を採っており、上記の CD-ROM ベースの学習支援システムの問題点のうちでも特に最初の二つの解決を意図している。

以下、3.2でWWW上で個人適応型学習支援システムを実現しようとする際の課題について述べる。次に3.3でCALATのサーバに組み込んだITSシェルCAIRNEY(Fukuhara et al. 1995)の概要を述べる。さらに3.4でCALATの具体的なシステム構成を示す。3.5では、実際に実装したシステムを用いて評価実験を行なった結果を示す。3.6で関連研究について述べる。

3.2 システム実現上の課題

前節で述べたようにWWWにはマルチメディア学習環境として優れた特長がある。また、WWWはすでに全世界に広く普及しており、使用されている通信プロトコルやブラウザプログラムに手を入れずに新しい機能を利用可能とすることは実用的に大きな意味がある。しかし、既存のWWWの仕組みを学習環境として使用するには以下のような課題がある。

(1) 学習者識別機能

WWWではクライアントとサーバの通信プロトコルにステートレスプロトコルを採用している。すなわち、クライアントとサーバの間の通信は、クライアントからの一つの要求に対するサーバからの一つの応答で完全に完結しており、ある通信の結果が次の通信の内容に影響を及ぼすような“状態(ステート)”はサーバにもクライアントにも保持されない。ステートレスプロトコルの採用は、コンテンツが複数のサーバに分散した分散ハイパーテキストの簡潔で効率的な実現のためには本質的である。しかし、個々の利用者を区別し、利用者からの入力履歴に応じて処理内容を変える、という概念がないため、学習者の教材に対する応答や演習問題への解答の履歴に応じてシステムが学習の流れを制御する個人適応型学習支援機能を実現することは困難である。また、学習支援システムとしてはサーバ側で個々の学習者の進捗管理も行なう必要があるがこの機能の実現にも、利用者の概念の無いステートレスプロトコルは不向きである。従って、このような学習者識別機能をどのように実現するかがひとつの課題となる。

(2) マルチメディアデータ転送表示機能

スムーズで効果的なマルチメディアデータの表示は学習支援システムによる学習効果の向上に重要な要素となる。しかし現状のWWWの仕組みでは、回線速度が遅い場合やデータ量が多い場合はCD-ROMのようなローカルな媒体に比較して満足な表示速度が得られない場合が多い。また、WWWではクライアント側で表示しているデータの制御は基本的にユーザに任されているが、学習支援システムとしては場面に応じてユーザに見せたい情報だけを提示できるような表示制御手段が必要である。また、一方的な教材画面の表示だけでなく、学習者が機器の操作などを体験的に学習できる対話型シミュレーション環境が提供できれば、説明主体の学習法と組み合わせることによりいっそうの学習効果向上が期待できる。このようにスタンドアロン型の環境に近い応答性や対話性・操作性をいかに実現するかがもうひとつの課題となる。

3.3 CAIRNEY

CALAT ではサーバに汎用マルチメディア ITS シェル CAIRNEY の学習実行部を組み込んでいる。CAIRNEY は PC 上で稼働するスタンドアロン型の ITS シェルとして開発されたもので、教材作成部 (CAIRNEY-AUTHOR) ならびに学習実行部 (CAIRNEY-TUTOR) からなっている (Fukuhara et al. 1995)。CAIRNEY ではテキスト、画像、アニメーション、音声などを用いたマルチメディアデータを扱える他、機器の操作などを習得するための簡易なシミュレータを作成・実行する機能を有する。

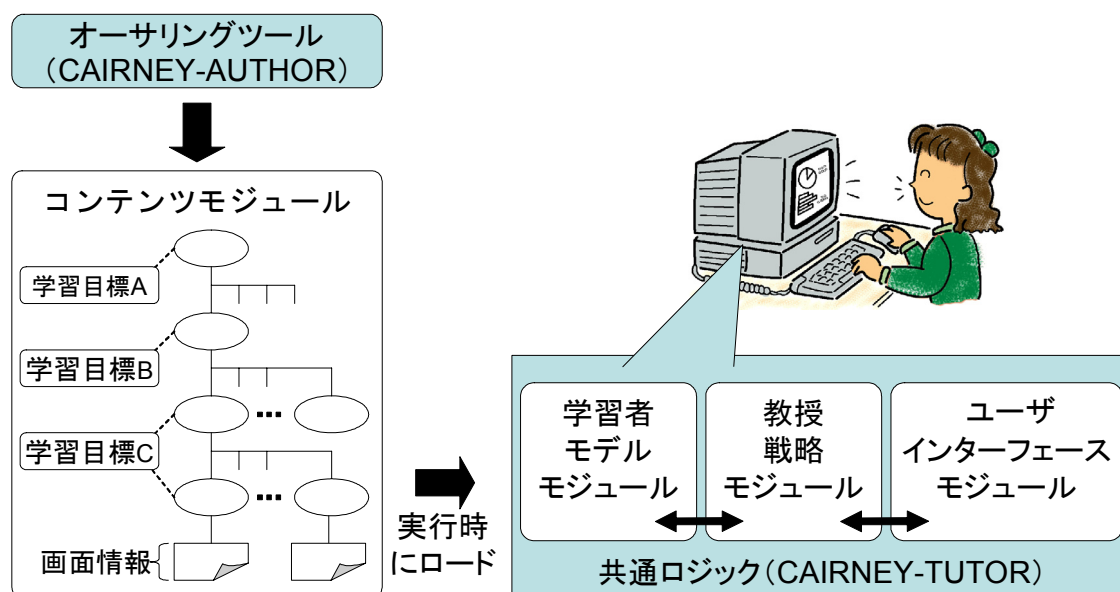


図 3.1 CAIRNEY の構成

CAIRNEY は十分なプログラミング知識がない教材作成者にも個人適応型の学習支援システムが容易に構築できることを目標に設計されている。そのため CAIRNEY-TUTOR は、図 3.1 のように、コンテンツモジュール、教授戦略モジュール、学習者モデルモジュール、インターフェースモジュールの 4 つの要素から構成されている。コンテンツモジュールは、説明や演習問題のページに対応するマルチメディアの“シーン”と学習目標を達成するためのシーン間の論理的な関連を記述した“学習目標構造”からなる。教授戦略モジュールは、学習目標構造と現在の学習者の状況から提示するシーンを決定し、演習問題やシミュレーションに対するユーザの応答から学習者モデルモジュールの内容をアップデートする、というサイクルを繰り返す。教材作成者は CAIRNEY-AUTHOR を用いて、個々のシーンの作成および教育内容固有の学習目標構造の記述を行うだけで、プログラミングの深いレベルに立ち入らずに個人適応型の教材を作成することができる。過去 200 以上の教材が作成されており、CALAT を実現することでこれらがネットワーク経由で利用可能となる。

3.4 CALAT の構成と機能

3.4.1 全体構成

CALAT は図 3.2 に示すようなサーバ／クライアント型の構成を採っている．サーバ側には WWW サーバ (httpd) と個々の学習者に対応した複数の CAI プロセスがある．CAI プロセスの実体は 3.3 で述べた CAIRNEY の学習実行部である．クライアント側は通常の WWW ブラウザ，マルチメディアデータを再生・表示するビューアおよびビューア制御機構からなる．CAI プロセスは httpd を介して HTTP プロトコルによりクライアントに HTML テキストやマルチメディアデータを送る．学習者が WWW ブラウザをクリックしたりフォームに入力した情報は同様に httpd を介して CAI プロセスに送られる．

3.4.2 学習者識別機能

3.2 で述べたように WWW はステートレスプロトコルを採用している．すなわち，クライアントからサーバへの要求には利用者情報は含まれておらず，クライアントからの要求に対してサーバが応答を返すたびに通信は切断される．CALAT ではサーバを図 3.3 のように構成することで，HTTP プロトコルおよび WWW クライアント自体には手を入れずに学習者識別機能を実現した．

サーバは学習者名と CAI プロセスとの対応表を保持している．この対応表で，学習者名から CAI プロセスの標準入出力に接続されたソケットのポート番号を引くことができる．学習者は最初に CALAT のホームページで学習したい教材と自分の名前を入力する．httpd は CALAT entry という CGI プログラムを経由して新たな CAI プロセスを起動する．このとき上記の対応表に，学習者名，および CAI プロセスと通信を行なうためのソケットのポート番号を登録する．起動された CAI プロセスはクライアントに送り返すマルチメディアデータ中に学習者が選択可能な学習コマンドを URL として埋め込むが，この URL 中に必ず学習者名を含めるようにする．すなわちこれらの URL は，図 3.4 のように学習者名，CAI プロセスに対する学習コマンドを含んでいる．以降，学習者が要求を出すためにアンカーやボタンをクリックしてこれらの URL をサーバに送ると，その URL には必ず学習者名が含まれるので，CALAT entry は対応表を見て，その要求を転送する CAI プロセスを選択する．CAI プロセスでは転送されたコマンドを解釈して次に学習者に送り返すマルチメディアデータを決定する．

このように，個々の学習者と CAI プロセスの対応関係が常に保持され，CAIRNEY の個人適応機能が HTTP プロトコル上で利用できるようになる．CAI プロセスは，中断コマンドを受け取った場合や，一定時間以上学習者からの要求が無かった場合は，学習履歴をファイルに保存して終了するので，後で中断した箇所から学習を再開することも可能である．

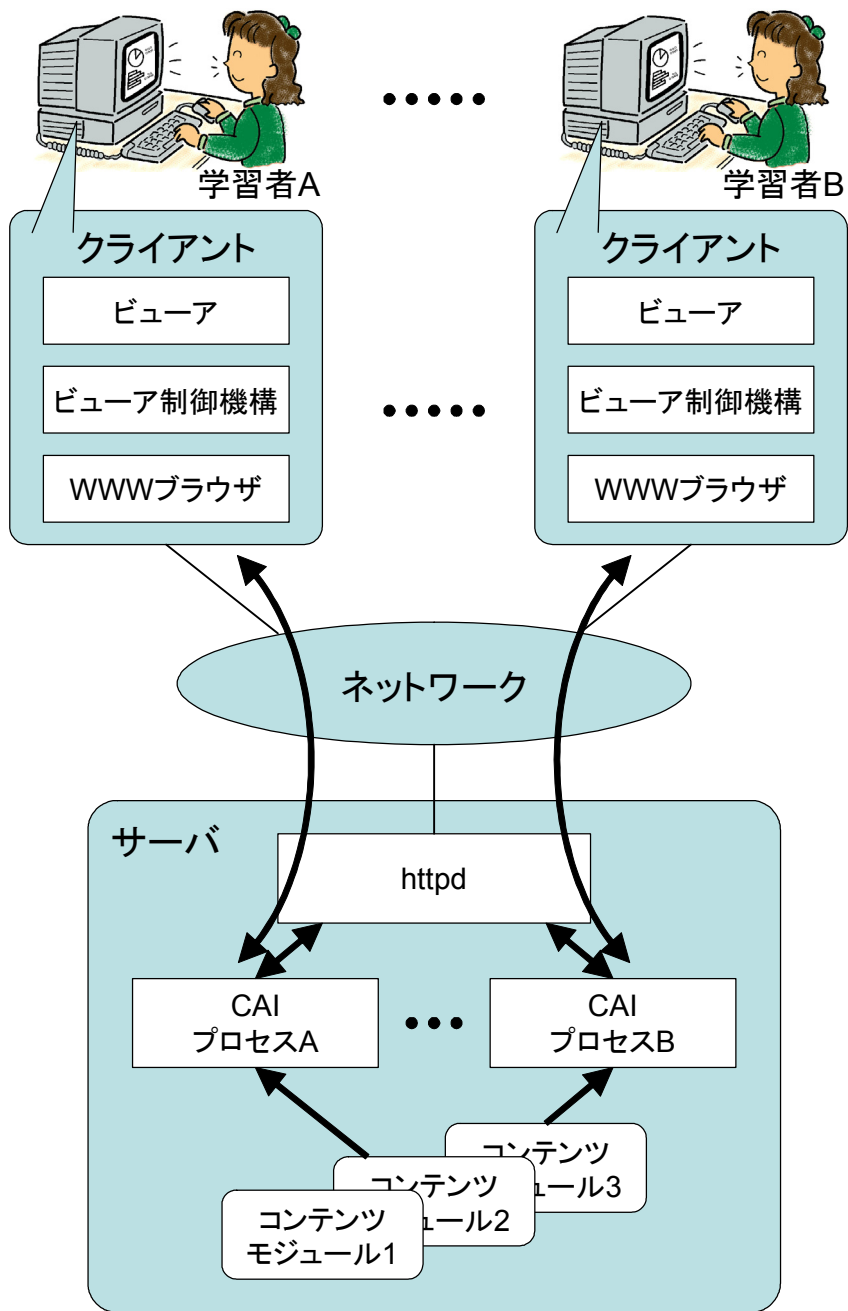


図 3.2 CALAT の構成

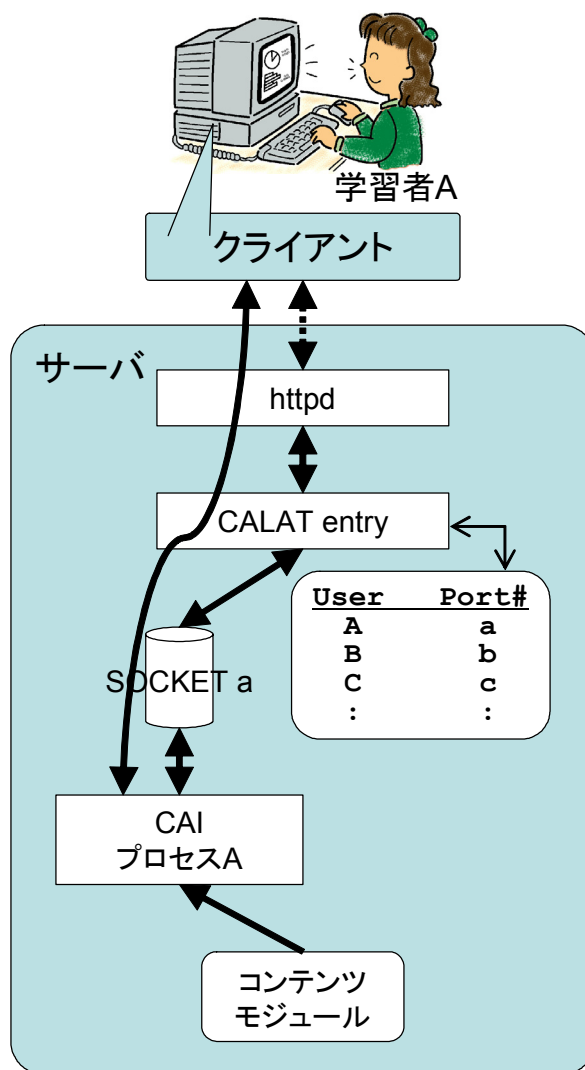


図 3.3 CALAT サーバの構成

`http://calat/cgi-bin/CalatEntry?USER=naka?COMD=NEXT`

図 3.4 学習者識別情報を含んだ URL

3.4.3 マルチメディアデータ転送表示機能

3.4.3.1 要求条件

3.2 で述べたように学習効果の向上のために、マルチメディアデータ表示転送機能は非常に重要である。マルチメディアデータ表示転送機能の設計上のポイントを以下に示す。

(1) 応答速度の向上

大規模なマルチメディアデータをネットワーク経由で転送した場合、システムの応

答速度が問題となる。例えば、典型的な CAIRENY の教材の 1 シーンは 10KB 程度のアニメーションと数 100KB (8bit, 8KHz で数分程度) のナレーションから構成される。従って、例えば ISDN 回線などを用いた場合、学習者が「次画面」を要求してから 1 シーンのデータがダウンロードされるまで数分程度待たされることになり、とうてい実用に耐えない。そこで、

- (a) データの転送と再生をパイプライン的に並行して行う。
- (b) WWW のプロキシサーバやブラウザなどの有するデータキャッシング機能を活用する。

の双方を併用して速度の向上を図ることとする。

(a) に関しては、インターネット上で音声データをストリーミング的に転送して連続的に再生を行なう方式はすでに存在する。しかし、専用プロトコルを用いているために、ファイアウォールを介した転送ができなかったり、データのキャッシングも難しいという問題がある。また、現状では、ネットワークの混雑の状況によって音声途切れたり、不明瞭になるなど、学習支援システムに適用した場合には学習者のストレスが増加することが予想されるので、他の方法を検討する必要がある。

(b) については、学習支援システムの場合データの提示順序が比較的一定していると考えられるので、クライアントからデータの先読み要求を出せばキャッシングの恩恵を受けることが可能となる。ここで注意しないといけないのは、CALAT でクライアントからサーバに送られる URL は、サーバに置かれたマルチメディアデータを直接指定する通常の形式のものではなく、図 3.4 に示したごとく学習者名と学習コマンドを含んだサーバに対する指示である、という点である。このため、同じ学習者が「次画面要求」を表す全く同じ URL を送っても、現在の状況によって提示すべきマルチメディアデータは異なるし、逆に異なる学習者が異なるコマンド（例えば「ヒント要求」と「用語解説」）を送っても同じマルチメディアデータを提示する必要がある場合もある。このため WWW の既存のデータキャッシングの仕組みはそのままでは有効に働かない。これは CALAT のような個人適応機能を有するシステムを HTTP プロトコル上で実現する場合の本質的な問題である。

(2) ビューア制御機能の実現

通常の WWW ブラウザでは表示しているデータの制御は基本的にユーザに任されている。例えば画像を表示した外部ビューアをいつ消去するかはユーザの自由で、極端に言えばシステム側はカンニングを防止するすべを持たない。そこで、ある場合には複数の画面を同時に表示し、またある場合にはひとつの画面だけを示すなど、学習者に提示する画面をサーバ側から制御できる機能を実現する。

また、対話型シミュレーション環境を実現するためには、学習者のマウスクリック入力などに応じて、サーバ側の学習者状況の更新および画面の書き換え・メッセージの提示などを行う必要がある。シミュレーション教材全体をクライアントに送り込ん

で実行することも考えられるが、開発コストを考えると得策とはいえず、汎用的なシミュレーションの枠組みを規定したうえで、サーバとクライアントの適切な機能分担を行う必要がある。シミュレーションについては 3.4.3.3 で詳細に述べる。

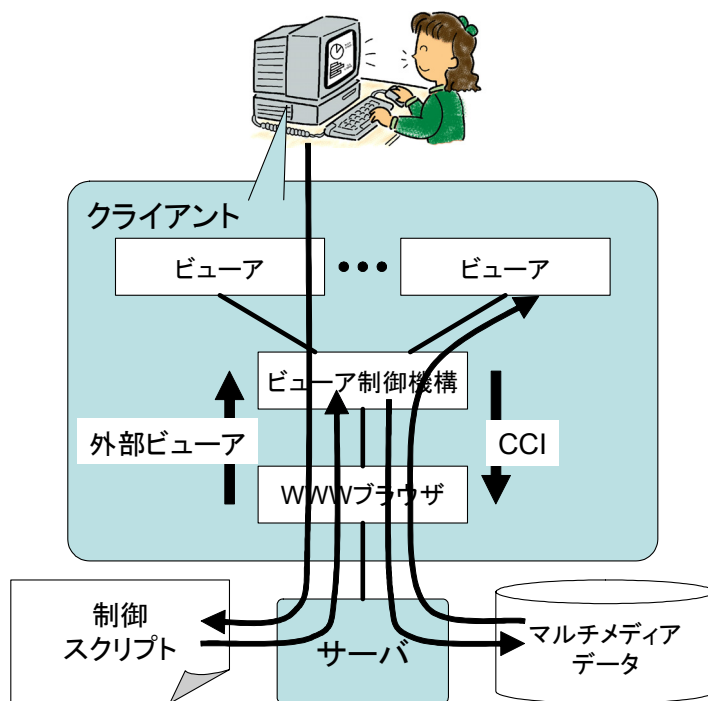


図 3.5 データ転送表示機能

3.4.3.2 制御スクリプトによる転送表示方式

前節で述べた要求条件をふまえて CALAT のデータ転送表示機能を設計した。構成を図 3.5 に示す。ここで中心的な役割を果たすのが、サーバからクライアントに送り込まれる制御スクリプトファイル、および、クライアント側でこの制御スクリプトファイルを解釈実行して複数のビューアを制御するビューア制御機構である。

学習者が「次画面要求」や「ヒント要求」といったコマンドを表す URL を CALAT サーバに送ると、サーバはその応答として適切な制御スクリプトを生成してクライアントに送り返す。制御スクリプトは決まったデータ型 (mimetype) を持っていて、ブラウザはこのデータを必ずビューア制御機構に渡す。つまり、ビューア制御機構はブラウザからは通常の外部ビューアに見える。

制御スクリプトには以下の情報が含まれている。

- (1) マルチメディアデータを表示するビューアの種類、識別名、および、それに対する命令。もし、指定された識別名のビューアが未起動ならビューア制御機構は指定種類のビューアを起動し、既に起動済なら以降の表示をそのビューアを用いて行う。逆に指定された識別名のビューアを終了させることもできる。

- (2) ビューアに表示させるシーンを構成するマルチメディアデータの URL のリスト。この URL はサーバ上の画像データや音声データを指す通常の URL である。ビューア制御機構は、WWW ブラウザで一般に提供されているリモートコントロールの仕組みを用いて、これらのデータをサーバに要求し、受信したデータを前項で指定したビューアに送って表示させる。またデータ先読みのために URL の要求と受信だけを行う指定もできる。
- (3) ビューア上でのボタンなどの GUI オブジェクトの定義。オブジェクトがクリックされると指定された URL の要求を発生する。「次画面」などのコマンドやシミュレーションのボタンを定義するために使う。

第 1 の機能により CALAT では複数ビューアを用いた教材画面提示を行っている。例えば、通常学習中は同一ビューアに説明のシーンを次々に上書き表示させるが、「用語解説」では専用のビューアを新たに起動する。また、演習問題に入ったときは起動している全てのビューアを終了する、といったビューアの制御を行っている。この機能を用いたクライアントの画面例を図 3.6 に示す。アニメーションとナレーションからなる教材シーンをビューアによって表示し、WWW ブラウザで教材の目次表示や HTML のフォーム機能による演習問題解答入力を行う。

データのパイプライン転送は第 2 の機能を用いて実現される。例えば、前述のように CAIRENY の教材の 1 シーンは、通常 10KB 程度のアニメーションと数 100KB のナレーションから構成される。そこで、ナレーションを小さなファイル (10~数 10KB 程度) に分割し、アニメーションデータファイルとこれらの音声データファイルの URL を制御スクリプトファイルに記述する。ビューア制御機構は、記述された最初の URL のデータを受信するとこれをビューアに送り込むとともに次の URL の要求を開始する。ビューアはアニメーションと最初のナレーションを受信すると、即座にデータの表示再生を開始する。このように、データの転送と表示再生を並行に行うことにより、学習者の要求に対する応答時間を大幅に削減できる。

さらに、制御スクリプトに記述されたマルチメディアデータは、通常の URL により指定されるので、プロキシサーバやブラウザによるキャッシングが可能である。また「次画面要求」で提示するシーンはその前のシーンを提示する際に予め決まっている。そこで、前のシーンの制御スクリプト中に、次のシーンを構成するデータの URL を先読み指定で記述しておくことにより、これらのデータがプロキシサーバやブラウザによって予めキャッシングされ、実際に学習者が「次画面要求」を出したときの応答速度をさらに向上できる。

またこの方式では、音声データも通常の http プロトコルによって転送するので、音声の品質はネットワークの状態には左右されず、圧縮方式を適宜選択することで品質と転送データ量のバランスをとることができる。



図 3.6 クライアント画面例

3.4.3.3 シミュレーションの実現

制御スクリプトを利用して対話型シミュレーション環境を実現した (Nakabayashi et al. 1996). この環境は (Fukuhara et al. 1995) で述べた CAIRNEY のシミュレーション機能をベースとしており、教材作成環境をそのまま活用できる.

シミュレーションは状態遷移の考え方で実装されている. すなわち、シミュレーション対象機器の動作は状態遷移図で表され、学習者のアクションにより状態遷移が起きる. 遷移の際に画面の書き換えや音声出力が行われ、同時にその遷移について得点付けがなされて学習者状況が更新される.

CALAT では状態遷移エンジンをサーバに置き、学習者のアクションに対する応答としてクライアントに制御スクリプトを送り返して画面書き換え・音声出力を行う構成を取った. これによってクライアント側でシミュレーションのための特別な機能を用意すること無く、ネットワーク経由のシミュレーション環境を実現した. 低速ネットワークで応答速度低下の恐れがある場合も通常シーンと同様、パイプライン転送およびデータ先読みによる対処が可能である.

3.5 評価

実際に実装したシステムを用い、3.4 で述べた学習者識別機能、および、マルチメディアデータ転送表示機能の有効性を評価する実験を行った。

3.5.1 学習者識別機能の評価

学習者識別機能の有効性を評価するため、「演習有り」と「無し」の二通りの動作モードで学習効果を測定する実験を行った。「演習有り」は、学習者が演習で間違えた回数に応じて自動的に復習に入るなど、学習者識別機能を活かした動作をする。一方「演習無し」は、学習者からの「次画面」「ジャンプ」などの要求に応じて教材シーンを提示するのみのモードであり、通常の WWW のリンクを用いて実現できる動作をする。

教材は、

- (1) ISDN の提供機能・仕組みに関するもの（初級技術者対象）
- (2) 来客対応・社外訪問のマナーに関するもの（一般社会人対象）

の二つである。

被験者は電気通信関連企業の研究所に勤務する社会人（技術系・非技術系含む）および実習生計 16 名で、これを二つのグループに分け、一方は教材（1）を演習有り、教材（2）を演習なしで、他方はその逆で学習させた。

表 3.1 に学習の前後で行ったテストの結果を示す。テストは各 10 問で正誤選択式の設問である。表から、いずれの教材でも演習の有無によらず誤答数が減少し、演習有りの場合の方がより誤答数の減少が大きい傾向を示していることがわかる。但し、統計的な有意差は得られなかった。

表 3.1 学習実験結果

	教材(1)		教材(2)		各欄とも平均（標準偏差）			
	演習なし	演習あり	演習なし	演習あり				
誤答数								
事前テスト	2.62 (1.59)	4.14 (1.46)	2.00 (2.00)	1.25 (0.88)				
事後テスト	2.38 (1.92)	3.57 (1.71)	1.12 (1.24)	0.13 (0.35)				
誤答減少数	0.24 (2.66)	0.57 (1.27)	0.88 (1.81)	1.13 (0.83)				

内容を詳細に調べたところ以下がわかった。

まず、教材（1）については、グループ分けを単純に氏名順で行ったため、演習有りグループ中 4 名が非技術系および実習生、一方、演習無しグループでは 1 名以外は技術系となっていた。上記 4 名の平均誤答数は、事前 4.75、事後 4.5 で特に事後テストの平均を引き下げている。また、全員が教材内容に関するアンケートで「教材が難しかった」あるいは

「非常に難しかった」と答えている。このように、内容を十分に理解・把握するだけの背景知識が無い被験者が演習有りのグループに多く入ってしまったことが、演習有無で有意な差が見られなかった一因と考えられる。

一方、演習無しのグループでは事後の誤答数が極端に増加した被験者が2名見られた(2→6, および, 0→3)。2名は技術系社員であり、演習が無いために正確な知識が定着しなかったことがうかがえる。演習有りのグループにはこのような例はなく、CALATの機能が有効に働いたことをの現れと考えられる。

教材(2)は社会常識に関するものであり、内容が平易(16名中12名が「普通」「易しかった」と回答)であったためか、差はほとんど見られなかった。但し、演習有りの場合はほぼ全員が誤答0となっている。

表3.2に、演習の有無について学習後にアンケートを行った結果を示す。これから、ほとんどの被験者が「知識の定着」「学習への集中」についてCALATの機能を有効と感じている。一方、演習問題に答えたり復習をすることについては肯定的な意見が多いものの、答えが分れている。これについては、HTMLのフォームによる解答入力に面倒だったり、復習で通常の学習と全く同じシーンが再度提示されるといったシステムの作りが影響していると思われる。今後改善を要する点である。今回は評価できなかったシミュレーション機能を使った教材もこれらの改善に有効と思われる。

表 3.2 アンケート結果

	はい	同じ	いいえ
演習ありの方が知識が身につく	15	1	0
演習ありの方が集中できる	12	4	0
演習ありだと回答がおっくう	4	2	10
演習ありだと復習画面倒	6	1	9

参考として表3.3に全く独立に行ったアンケートの結果を示す。この評価は上記とは別の製造業の企業で行われたもので、独自に作成した2つの教材が使用され、学習後に演習の有無についてアンケートを行っている。意見は全般に肯定的で、CALATの学習者識別機能の有用性のひとつの裏付けといえる。

表 3.3 他のアンケート結果

	はい	いいえ
演習有りと無しで理解度の差はあるか	13	0

コメントの一部：

一つ一つを理解しながら進められる。

演習によって(学習の)ポイントがわかる。

理解せずに進んでしまうのは問題。差はある。

自分の理解度がわかる。つまったところはよく覚える。

3.5.2 マルチメディアデータ転送表示機能の評価

複数のネットワークと表示データの条件で転送表示性能を測定した。測定に使用した教材のシーンは、9.3KB のアニメーションデータと 295KB の音声データ (ITU G.723 ADPCM, 約 98 秒) からなる。これを、

- (1) 通常の一括転送
 - (2) アニメーションデータおよび 21 の音声データに分割してパイプライン転送
- の 2 通りの場合について測定した。サーバとクライアント間のネットワークは、
- (a) イーサネット
 - (b) ISDN 64Kbps 同期 ppp
 - (c) 28.8Kbps モデム ppp

である。サーバは Sun4/670MP, クライアントは i486DX4-75MHz 搭載の Windows95 ノートパソコンを使用した。

表 3.4 に、データを要求してから再生が開始されるまでの応答時間、再生が開始から終了までの再生時間、の測定結果を示す。パイプライン転送のデータの列の () 内は、アニメーションと最初の音声データが先読みされていて、ブラウザのキャッシュがヒットした場合の応答時間である。

表 3.4 データ転送表示時間

	一括転送		パイプライン転送	
	応答	再生	応答 (先読み有り)	再生
イーサネット	5.2	110.8	4.2 (4.2)	127.5
ISDN 64kbit/s	47.9	110.8	7.3 (5.1)	142.4
モデム 28.8 kbit/s	100.5	110.8	12.3 (5.7)	294.2

応答時間を見ると、イーサネットではどちらの方式でも問題無く使用することができる。一方、ISDN やモデムでは一括転送を使うと応答に数分を要して実用に耐えないが、パイプライン転送を使うことで大幅な短縮が可能となっている。さらに最初のデータを先読みすることでイーサネットとほとんど同程度の応答速度が得られている。

前節の実験での学習者の操作ログを調べたところ約 7 割の操作が「次画面要求」であり、先読みの効果はかなり期待できるといえる。

再生時間については、パイプライン転送では転送と再生を並行に行うため、転送プロトコルやタスクスイッチングのオーバーヘッドの影響で再生が間延びする傾向となる。今回の実験条件では、モデムでこの傾向が顕著でより低ビットレートの音声データを使う必要があるが、ISDN では再生時間の増加は 3 割弱であり実用的に問題のない性能が得られた。

なお、CALAT の転送表示機能の核となるビューア制御機構は SunWS 用の場合 C 言語と Tcl 言語で約 4K 行と非常にコンパクトであり、移植も難しくない。実際に、Windows95 および Macintosh にも移植され既存の WWW ブラウザと組み合わせて CALAT で学習

を行うことができる。

3.6 関連研究

WWW を用いた個人適応型学習支援システムとして、Kay らの C 言語教育システム (Kay & Kummerfeld 1994)、Ibrahim らのプログラミング教育システム (Ibrahim & Franklin 1995)、Schwarz らのシステム (Schwarz et al. 1996) がある。

Kay らのシステムは、CGI プログラムで起動した C プリプロセッサで `#ifdef` 文を埋め込んだ教材を直接書き換えて学習者適応機能を実現しているため、汎用性も乏しくオーサリングも困難である。Ibrahim らのシステムは WWW サーバ上で CAI プログラムを走行させる形態をとっているが、CAI プロセスと学習者の対応のために学習者名ではなく CAI プロセスのプロセス ID を URL に含めており、学習の途中中断・再開ができない。Brusilovsky らのシステムは本格的な ITS をベースとしており学習履歴管理もなされているが、前二者と同様に、教材は HTML テキスト主体で他のメディアの利用に関する検討はなされていない。

3.7 結言

インターネット上の情報提供システム WWW (World-Wide Web) を利用した個人適応型学習支援システム CALAT について述べた。WWW のサーバ/クライアント構成を拡張し、サーバ側で個々の学習者毎の CAI プロセスが稼動し、学習者は WWW クライアントを用いてネットワーク経由で学習を行なう構成とした。サーバ側に CAI プロセスと個々の学習者の対応関係を保持する学習者識別機構を設け、WWW のステートレスプロトコルを変更せずに、演習問題の解答内容などに応じて学習の流れを変更する個人適応型学習機能を実現した。また、サーバから転送した制御スクリプトをクライアントで解釈実行する表示制御方式を開発し、表示応答速度の向上、サーバからの教材画面制御、対話型シミュレーション教材の利用、を可能とした。実装したシステムの評価を行い、学習者識別機構、データ転送表示機能の有効性を確認した。

第4章 教材オブジェクトに基づく WBT システム

4.1 諸言

前章に示したような WBT システムは、e ラーニングによる各種の学習形態の中でも、非同期型の自己学習システムとして重要な位置付けにある。WBT システムを用いると、学習者は時間、場所の制約を受けずに自分のペースで学習を進めることができる。教材の工夫により、低いコストで短時間に高い教育効果を上げることも可能となる。一方で、教育効果を高めるために、教材を提示する際にどのような教授戦略を用いるか、演習問題の形式はどのようなものにするか、学習画面にどのような表現効果を持たせるか、といった要求仕様は、教材開発側の意図によって多種多様に変化し、WBT システム開発時にある範囲に限定することは難しい。

そこで、本章では、第2章で述べた教材オブジェクトの適用により拡張性の向上を図る、というアプローチを WBT システムへ適用することを試みる。ここに示すアーキテクチャは、木構造型の WBT 教材の各ノードに対応した教材オブジェクトを構成要素としてシステムを構成する。教授戦略、ユーザインターフェースなどの機能を有する教材オブジェクトクラス（以下、教材クラスと呼ぶ）を予め用意し、学習時には、別途作成した教材定義に従い、教材クラスを各ノードに対してインスタンス化して教材オブジェクトインスタンス（以下、教材インスタンスと呼ぶ）として実行する。教材インスタンス間のインターフェースを規定し、教材クラスの追加によって提示教材選択ロジックや画面生成ロジックのカスタマイズ・機能拡張が容易に行えることを目指している。

本章では複数の教材オブジェクトが連携して動作するためのコマンド処理方式、WWW の対話型マルチメディア機能を組み込むための画面生成方式、および、オブジェクトの継承による機能拡張・カスタマイズの方式を提案する。

以下、4.2 で既存の WBT システムの構成と課題を示す。4.3 では教材オブジェクトを適用した WBT システムの設計方針について述べる。4.4 ではシステムの実装を示し、4.5 で本システムの適用例を示す。

4.2 WBT システムの構成と課題

WBT は WWW(World-wide Web)の技術を用いて、サーバから教材を配信し、学習者は WWW ブラウザを用いて遠隔から自分のペースで自己学習を行う学習形態である。WBT の特徴的な機能として以下が挙げられる。

- (1) WWW の対話型マルチメディア環境を活用してシミュレーション型などの教材を提供する。

- (2) 教師に対して学習者の学習進捗状況や演習問題解答状況を一元的に提供し個々の学習者の指導に役立たせる。
- (3) 学習進捗状況や演習問題解答状況を反映して提示する教材画面を自動的に選択する学習者適応機能を提供する。

これらの機能を実現するために、従来、大きく二つのシステム構成形態が採られてきた。ひとつめの形態は、第 2 章で述べた一体型の構成に相当するもので、初期の WBT システムによく見られたものである。この形態では、上記(2)、(3)を実現するための学習進捗状況把握、提示教材選択、などのロジックを教材に含めて一体で開発する (Kay & Kummerfeld 1994)。このような一体型の構成では教材ごとに機能を自由にカスタマイズできるが、教材作成にロジック開発のスキルが必要となり、教育現場で多数の教材を効率的に開発することはできない。

ふたつめの構成形態は、第 2 章で述べたモジュール型の構成に相当するもので、教育内容に固有のコンテンツ部と、教育内容に依らない共通ロジックからなるプラットフォーム部を分離した構成を採り、専用のオーサリングツールを用意して教材作成の容易化を図るものである。近年の WBT システムではこのような構成をとることが多く、最近の WBT システムの標準規格もこのようなモジュール型構成を前提としている (Fallon & Brown 2003, 仲林 2002a, 仲林 2002b)。学習者適応機能を提供する場合、プラットフォーム部は、さらに教授戦略、学習者モデル、ユーザインターフェースのモジュールから構成することが一般的である (溝口 1995)。

このようにモジュール型構成の WBT システムは、近年一般的に用いられるようになっており、教材も多数流通するようになってきている。前章で述べた CALAT (仲林 他 1997) はこのようなモジュール型 WBT システムの典型例であり、このシステムで実行される多数の教材が開発されてきた。しかし、適用範囲が広まるにつれ、このようなモジュール型 WBT システムでは、様々な機能のカスタマイズ要求に対応するためにモジュールにまたがる修正が必要となり、新規機能の追加やカスタマイズが困難であることが明らかになってきた。本節では CALAT を例に、4.2.1 でモジュール型 WBT システムの構成を、4.2.2 で課題を説明する。

4.2.1 CALAT の構成

前章で述べた CALAT の構成の詳細を図 4.1 に示す。システムはコンテンツ、教授戦略、学習者モデル、ユーザインターフェースの 4 つのモジュールからなる。

- コンテンツモジュールは、教材構造の定義情報、HTML などの画面情報、および、学習目標からなる。教材構造は教科書の章立てと同様の木構造である。木の末端ノード (以下、画面ノードと呼ぶ) は教科書のページに相当しており、画面情報に関連付けられている。また、教材構造の各ノードは学習目標に対応している。
- 学習者モデルモジュールは、コンテンツで定義された学習目標の習得状態を管理している。学習の進展とともに学習目標の習得状態を更新していくオーバレイモデルを用

いている。

- 教授戦略モジュールは、学習者からの「次画面」、「前画面」、「ヒント」、などのコマンドに対応したサブモジュールから構成される。コマンドに対応して起動されたサブモジュールは、演習問題に対する学習者の応答から学習者モデルを更新したり、次に提示する画面ノードをコンテンツモジュールから選択したりする。提示する画面ノードの決定は、最終的にすべての学習目標が習得されるように、解説画面ノードを選択し、次に演習画面ノードを選択して学習目標の習得状況を確認し、誤りがあった場合はヒント提示や復習を行なう。

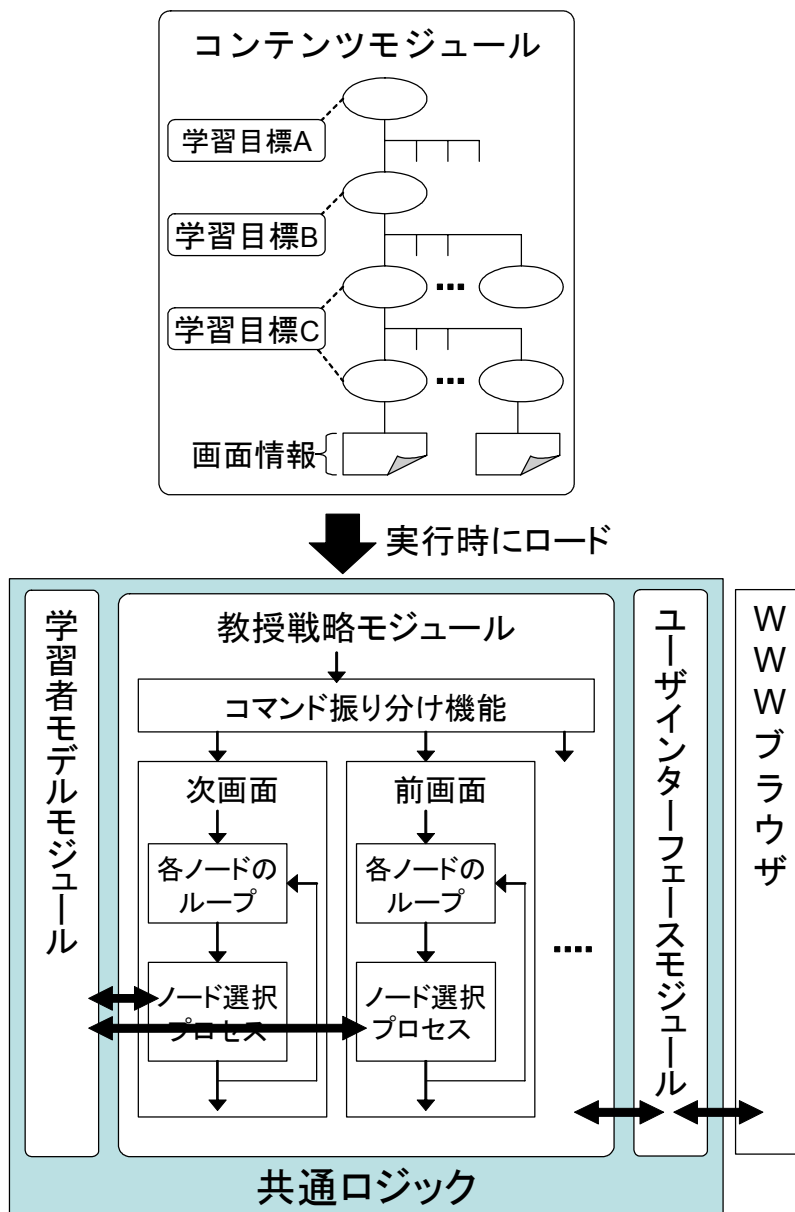


図 4.1 CALAT の構成

- ユーザインターフェースモジュールは、教授戦略モジュールで選択された画面ノードの画面情報、および、その時点で学習者が入力可能なコマンドを合成して HTML データを生成し WWW ブラウザに表示する。演習問題を提示するときは、前回の解答・正誤・得点なども含めて表示データを生成する。

以上の4つのモジュールのうち、教授戦略、学習者モデル、ユーザインターフェースの3モジュールは共通ロジックとして予め用意されている。コンテンツモジュールは、教師や教材作成者がオーサリングツールを用いて作成するもので、教育内容ごとに複数のコンテンツモジュールが存在し、学習時にシステムに読み込まれて実行される。

このようなモジュール型構成は、近年の知的教育支援システムの一般的な特徴である（溝口 1995）。また、木構造型の教材構造、木の末端ノードに付随する画面情報、木の各ノードに関連付けられた学習目標、という教材構成は AICC 規格、SCORM 規格などの WBT 標準規格でも採用されており（Fallon & Brown 2003, 仲林 2002a, 仲林 2002b）、WBT システムの教材構成としては一般的である。

4.2.2 WBT システムにおけるカスタマイズ要求とモジュール型 WBT の課題

前節で述べたようなモジュール型構成の WBT システムでは、コンテンツモジュールと他のシステム側モジュールを分離したことにより、既存の教材の機能に影響を与えずに、様々なカスタマイズの要求に柔軟に対応することが困難である、という課題がある。

カスタマイズ要求は、ふたつの属性によって整理できる。ひとつはカスタマイズや機能追加の対象で、

- (1) 教材内の章や画面などの個別のノード
- (2) ある教材全体ないし教材群一括
- (3) 全教材一括

が考えられる。モジュール型の WBT システムでは、システム側モジュールが全教材に共通に用いられるため、上記「(3) 全教材一括」の機能追加のようなカスタマイズはやりやすい。一方、(1) や(2) のような個別のカスタマイズは、ノードや教材がカスタマイズの対象か否かの識別が必要となり、さらにカスタマイズの影響が対象外のノードや教材へ及ばないことを保証する必要がある。

もうひとつの属性はカスタマイズの内容で、

- (a) 新たなコマンド・機能の追加
- (b) 既存コマンド・機能の処理内容の修正
- (c) 教授戦略の追加

が考えられる。(a) は図 4.1 の教授戦略モジュールにおいてコマンドに対応した新たなサブモジュールを追加することに対応し、(b) はサブモジュール内で修正を行うことに相当する。(c) は、複数のコマンドの追加や処理内容修正を行い、場合によっては学習者モデルの修正を伴うような大規模なカスタマイズである。(a)はサブモジュールの新規追加なので比較的容易であるが、(b) や(c) はサブモジュール内での修正となり、サブモジュールの複雑化を

招く。

以下にいくつかの例を示す。

- (例1) ある特定の教材に「関連説明」という新しいコマンドを追加したいとする（「(2) 教材全体」への(a) コマンド追加）。この場合、教授戦略モジュールにこのコマンドを処理するサブモジュールが加わる。また既存の教材も含めて、この新しいコマンドを使うか否かのフラグの追加が必要となる。
- (例2) ある教材内の特定の節で復習の回数に応じて異なる説明画面を提示するように復習機能を修正したいとする（「(1) ノード」に対する「(b) 機能の修正」）。教材の各節には、この修正した機能を使うか否かのフラグ、復習回数と説明画面の対応、といったデータ項目の追加が必要となる。教授戦略モジュールでは、復習機能に対応したサブモジュールで既存の機能と修正した機能のどちらを使うかのチェックおよび復習回数に応じた説明画面選択ロジックの追加、学習者モデルでは復習回数カウンタの追加が必要になる。
- (例3) ある教材内の演習問題で対話型シミュレーションを用いたいとする。この場合、操作の手順が評価の対象となるため、「採点」、「ヒント」、「正解提示」といった複数コマンドの処理内容が、通常が多肢選択型や穴埋め型の演習問題とは異なったものになる（「(1)ノード」に対する「(c) 教授戦略の追加」）。教授戦略モジュールでは、各コマンドに対応したサブモジュールで、通常の演習問題か対話型シミュレーションかの切り替えが必要になる。また、ユーザインターフェースモジュールでも通常の演習問題と異なる GUI を扱う必要が生じる。

4.3 設計方針

前節で述べたモジュール型 WBT システムの課題の根本的な原因は、システムの機能がモジュールに分割して実装されていることにある。これを解決するため、本研究では、教材オブジェクトを構成要素とする WBT システムを提案する。教材オブジェクトはモジュールに分散していたロジックとデータを統合したものである。教材オブジェクトを木構造型の教材の各ノードに対応させてシステムを構成する。すなわち、従来のモジュール型 WBT システムが機能に着目したモジュール分割（縦割りの分割）を行っていたのに対して、本システムでは教材の構造に対応して機能を配置するオブジェクト分割（横割りの分割）を行う。

さらに、従来のモジュール型の利点である教材作成の容易化という利点を継承するとともに、カスタマイズの影響範囲を限定するため、教材定義と教材オブジェクトは個別に作成するようにする。教材作成時には従来と同様に教材定義だけを行い、実行時には、教材オブジェクトを教材定義に従って、学習者ごとにインスタンス化する。4.1 で定義したように、実行前に作成した教材オブジェクトを教材クラス、実行時にインスタンス化された教材オブジェクトを教材インスタンスと呼ぶ。カスタマイズが必要な場合は、新たな機能を

実装した教材クラスを新たに追加する。既存の教材定義で使用する教材クラスには修正が生じないので、カスタマイズの影響が必要以上の範囲に及ぶことはない。教材群あるいは全教材に対するカスタマイズは共通する教材クラスを変更することで行える。

また、このように異なる教材クラスから生成される教材インスタンスを連携して動作させられるように、教材インスタンス間の情報のやりとりを規格化する。これによって、新たな教材クラスの追加による機能拡張を可能とする。

以下、4.3.1 で教材オブジェクトに基づくシステムの全体構成、4.3.2 でオブジェクト間の情報のやりとりを規格化するためのコマンド処理方式、4.3.3 で画面カスタマイズのための画面生成ロジックについて述べる。また、4.3.4 でカスタマイズの例を示す。

なお、本論文では前節に示したような、木構造型の教材構造を有する WBT システムを対象とする。学習者モデルとしては、学習者適応機能を実現するために実用的に用いられているオーバレイモデル（大槻 2000）を前提とする。

4.3.1 全体構成

図 4.2 にシステムの全体構成を示す。教材実行前には、教材クラスと教材定義が準備される。教材クラスは、教授戦略やユーザインターフェースを実装したプログラム部品である。教授戦略クラスには、従来教授戦略モジュールで実装されていた提示教材選択ロジックや演習問題制御ロジックが含まれている。ユーザインターフェースクラスでは従来ユーザインターフェースモジュールで実装されていた画面生成ロジックが含まれている。教材定義は従来のモジュール型 WBT におけるコンテンツモジュールに相当する。教材定義の各ノードには、実行時にインスタンス化される教材クラス名が記述されていて、各ノードで異なる教授戦略クラス、ユーザインターフェースクラスを指定することができる。従って、カスタマイズを行う際には、新たな教材クラスを追加し、教材のノードでこの教材クラスを指定する。

教材実行時に、教材クラスは教材定義に従ってインスタンス化され、教材インスタンスとなる。各教材インスタンスは教材で定義された学習目標と関連付けられている。末端ノード以外の教材インスタンス（以後、セッションインスタンスと呼ぶ）は、教授戦略クラスをインスタンス化したもので、ノード自身の進捗状況データを持つ。末端ノードの教材インスタンス（以後、画面インスタンスと呼ぶ）は、教授戦略クラスとユーザインターフェースクラスをインスタンス化したものである。

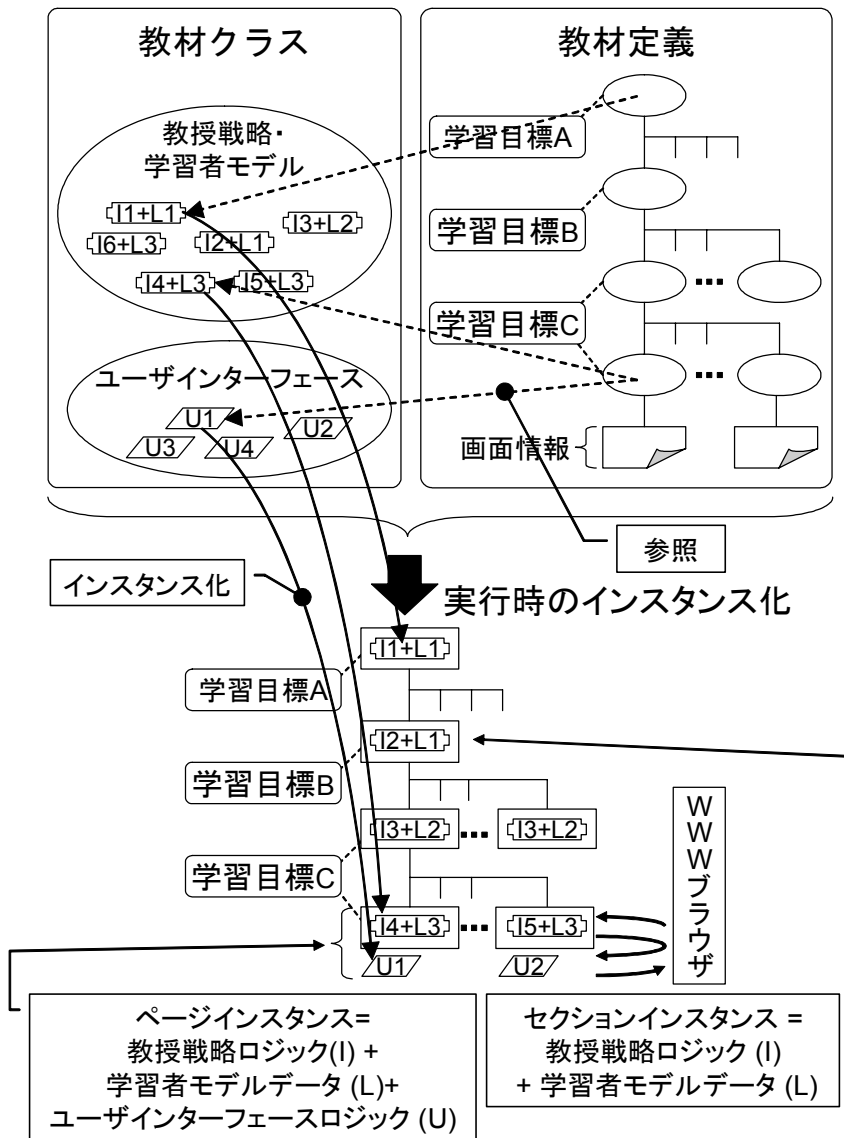


図 4.2 提案システムの構成

4.3.2 コマンド処理方式

本システムの構成では、従来、システム共通の教授戦略モジュールの中で実装されていた提示教材選択ロジックや演習問題制御ロジックを、木構造に接続された複数の教材オブジェクトに分散して実装しなくてはならない。この際、教材オブジェクト相互の独立性を高め、複数の異なる教材クラスから生成される教材インスタンスを組み合わせることで実行可能とするためには、大域的な情報の参照を極力排除し、規格化された教材オブジェクト間の情報のやりとりのみで、WBTシステムの一般的な動作を実現する必要がある。

そこで、本システムでは教材オブジェクト間の要求伝播によって、提示教材選択ロジックや演習問題制御ロジックを実現する方式を用いた。以下、この方式を説明し、これによって一般的なWBTシステムの動作が実現できることを示す。

なお、以下の説明で、現在画面に表示されている画面インスタンスをカレントインスタンスと呼ぶ。また、木構造の教材インスタンス全体のうち、ある教材インスタンスとその下位の教材インスタンス全体の集合を、その教材インスタンスのスコープと呼ぶ。カレントインスタンスおよび教材インスタンスのスコープを図 4.3 に示す。

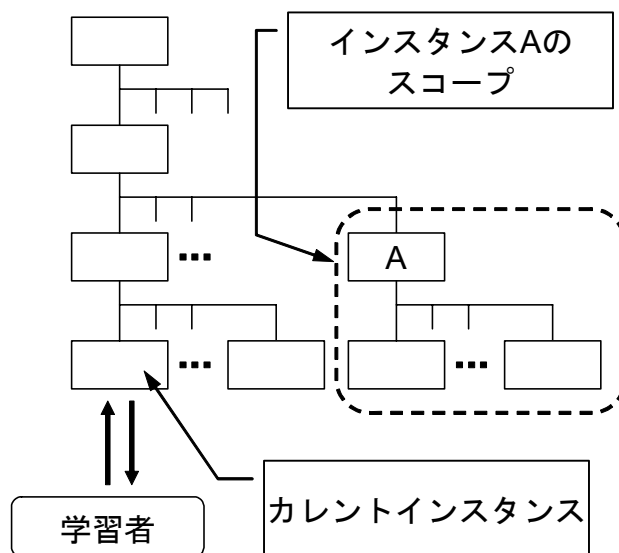


図 4.3 カレントインスタンスと教材インスタンスのスコープ

4.3.2.1 要求伝播処理

本方式では、以下のように教材インスタンス間で下位から上位に要求を伝播して処理を行う。¹

Step1) 学習者からのコマンドを要求としてカレントインスタンスに送る。

Step2) 教材インスタンスは、自身のスコープ内で受け取った要求を処理できる場合、処理を実行して結果を送り返す。

Step3) 自身のスコープ内で受け取った要求を処理できなければ、要求を自分の親の教材インスタンスに送る。

Step4) 親教材インスタンスも Step2 と 3 を繰り返す。

4.3.2.2 具体的な動作

前節の処理方式で学習者からのコマンドが具体的にどのように処理されるかを以下に示す。ここでは 4 種のコマンド種別に対する動作を示す。この分類は、表 4.1 に示す CALAT を含む市販の WBT 製品および SCORM2004 規格 (Advanced Distributed Learning Initiative 2004) のコマンド処理内容を分析した結果に基づく。

¹ 一般にオブジェクト間で要求を持ち回り、適切なオブジェクトが処理を実行する方式は Chain of Responsibility デザインパターンとして知られている (Gamma et al. 1995)。

表 4.1 WBT コマンドの分類

システム コマンド		CALAT	SCORM 2004	A 社	B 社
演習問題関連 ¹⁾					
	採点	○		○	○
	ヒント	○		○	○
	正解	○			○
	解説			○	○
	演習放棄	○			
次提示教材選択					
	次画面	○	○	○	○
	前画面	○	○	○	○
	飛び越し	○			
学習進捗状況表示・終了					
	目次	○	○	○	○
	終了	○	○	○	○
	中断	○	○	○	
情報提供					
	しおり	○			○
	用語	○	○ ²⁾	○	
	ヘルプ	○	○ ²⁾	○	○
	Q&A ³⁾			○	○

1) SCORM2004 では演習問題関連コマンドは教材側で用意する

2) SCORM2004 では任意の URL を用語，ヘルプとして指定できる

3) Q&A はメールなどによる教師への質問機能である

(1) 演習問題関連コマンド

「採点」，「ヒント」，「正解提示」などのコマンドで，現在表示されている演習問題の内容に固有の処理を行う。処理はカレントインスタンスの範囲の中で実行される。Step1 でカレントインスタンスが「演習問題関連コマンド」の要求を受け取る。Step2 でカレントインスタンスがコマンドに対応する処理ロジックを実行する。

(2) 次提示教材選択コマンド

「次画面」，「前画面」などのコマンドで，学習者の学習進捗状況に応じて次に提示する画面インスタンスを選択する。提示する画面インスタンスは，カレントインスタンスの親のセクションインスタンスの範囲内から検索される。範囲内に適当な

画面インスタンスが存在しない場合、さらに上位のセクションインスタンスのスコープから検索を行う。つまり、適当な提示候補が見つからなければより広いスコープから検索を行う。

この様子を図 4.4 に示す。まず、カレントインスタンスは、要求を親のセクションインスタンスに送る。セクションインスタンスは、自分のスコープの中で提示教材選択ロジックを実行する。つまり、自分の子の画面インスタンスの中から次に提示する画面インスタンスの選択を試みる。子がセクションインスタンスの場合は、さらにその子に対して再帰的に提示教材選択ロジックを実行する。この結果、提示する画面インスタンスが決定すれば、それを結果として送り返す。子の画面インスタンスがすべて提示済みであるといったような理由で提示する画面インスタンスが決まらなければ、さらに上位のセクションインスタンスに要求が送られ、要求を受け取ったセクションインスタンスは、自分のスコープの中から次に提示する画面オブジェクトの選択を試みる。

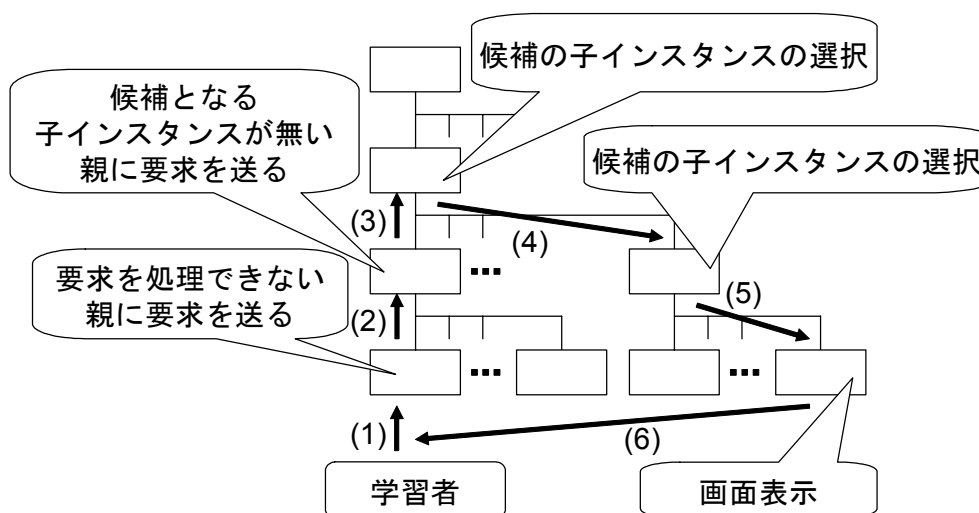


図 4.4 次画面コマンドの処理

(3) 学習進捗状況表示・終了コマンド

「目次」、「終了」、「中断」などのコマンドである。「目次」ではすべての教材インスタンスの学習進捗状況を表示する。「終了」、「中断」ではすべての教材インスタンスの学習進捗状況を収集してファイルに保存する。このように処理は最上位のセクションインスタンスのスコープの中で実行される。

これらのコマンドを処理するロジックは最上位のセクションインスタンスのみに実装されていて、中間のセクションインスタンスは処理を実行せずに受け取った要求を上位のセクションインスタンスに送る。最上位のセクションインスタンスは要求を受け取ると、下位の教材インスタンスの学習進捗状況を収集して表示ないし保存する。

(4) 情報提供コマンド

「用語」、「ヘルプ」などのコマンドである。これらのコマンドを処理するロジックは任意の教材インスタンスで実装される。教材全体で同じ内容を提供したい場合は、最上位のセクションインスタンスのみでロジックを実装する。中間のセクションインスタンスで実装した場合は、そのインスタンスの範囲で固有の用語集やヘルプを提供することになる。

4.3.2.3 コマンド処理のカスタマイズ

4.3.2.1, 4.3.2.2 で述べたように、本方式では、一般的な WBT システムのコマンドの機能を要求伝播の考え方で実現でき、さらに、コマンドの追加や機能のカスタマイズを任意の範囲内で自由に行うことができる。例えば「演習問題関連コマンド」の例で、「採点」のロジックは演習問題の画面インスタンスごとに異なっていて良い。これによって、ある画面インスタンスでは正答との完全一致に基づく採点を行い、他の画面インスタンスでは解答の揺らぎを許す採点ロジックを実装といったことが可能となる。また、「次提示教材選択コマンド」の例では、ある範囲では単純なページめくり型の教材選択を行い、その中の一部の範囲では学習目標の習得状況を参照した学習者適応型のロジックを用いるといったことが可能である。

重要な点は、このような様々なロジックの追加やカスタマイズが、新しい教材クラスを後から追加することで、これまでに作成した教材や、同一教材内の範囲の異なるインスタンスの動作に影響を与えずに、実現できるということである。

4.3.3 画面生成ロジック

図 4.2 に示した構成では、従来システム共通のユーザインターフェースモジュールで実装されていた画面生成や GUI 制御ロジックを個々の画面オブジェクトで実現することになる。この際、画面生成の仕組みを独自に作りこんでしまうと、新しく開発される多様な WWW 技術を効果的に活用していくことが困難になる。

そこで画面生成ロジックを外部に切り出し、画面生成機能に適した WWW 技術を活用できる構成を採ることとした。外部に切り出された画面生成ロジックは、CGI, ASP など任意のサーバサイドプログラミングの仕組みを用いて画面生成を行う。図 4.2 のユーザインターフェースオブジェクトがこれに該当する。使用するユーザインターフェースクラスは画面インスタンスごとに指定可能であり、個別にカスタマイズできる。これによって、画面レイアウトや演習問題出題形式のカスタマイズが画面インスタンスごとに行え、Java Applet や各種プラグインなどブラウザ側の WWW 技術との連携も可能となる。

4.3.4 カスタマイズ例

本節では、以上の設計方針に基づくカスタマイズの例を 4.2.2 の例に沿って示す。

(例1) ある特定の教材に「関連説明」という新しいコマンドを追加する(「(2)教材全体」への「(a)コマンド追加」)。新しいコマンドを追加定義した教授戦略クラスを作成し、

教材定義の各ノードで作成した教授戦略クラスを指定する。なお、新しい教授戦略クラスは4.4.1.1に述べるように、既存の教授戦略クラスから派生して作成すればよい。

(例2) ある教材内の特定の節で復習の回数に応じて異なる説明画面を提示するように復習機能を修正する(「(1)ノード」に対する「(b)機能の修正」)。復習機能を修正した教授戦略クラスを作成し、教材定義の必要なノードで作成した教授戦略クラスを指定する。また、復習回数と説明画面の対応なども教材定義に追加する。新しい教授戦略クラスは上と同様、既存の教授戦略クラスから派生して作成できる。

(例3) ある教材内の演習問題で対話型シミュレーションを用いる(「(1)ノード」に対する「(c)教授戦略の追加」)。対話型シミュレーションのための新たな教授戦略を組み込んだ教授戦略クラスおよびユーザインターフェースクラスを作成する。教材定義の画面ノードでは作成したクラスを指定する。

以上の例では、従来のモジュール型WBTと異なり、既存の教材クラスを使用する他の教材への影響は生じない。また、カスタマイズ自身も、既存のモジュールを修正するのではなく、新たなクラスの追加となるため、容易に行うことが可能となる。

4.4 システムの実装

以上の設計方針に基づくWBTシステムを実装した。実装構成を以下に示す。

4.4.1 教材オブジェクト

4.4.1.1 教材クラスの継承構成

教材オブジェクトはC++で実装されている。教材クラスは、基本的な機能を有するものを予め用意し、カスタマイズの際にはこれらを継承して新しいクラスを作成する。継承関係の概略を図4.5に示す。

「基底クラス」はすべての教材クラスのもとになるクラスで、教材の階層構造を規定するための親子間のポインタ、要求伝播のためのメソッドを有しており、本システムの骨格となるクラスである。

WBTとしての実際の機能は基底クラスを継承したクラスで実装していく。図4.5では、今回実装した中で最もシンプルな二つの教授戦略に応じた教材クラスを示している。「基本クラス群」は単純なページめくり型の機能を提供し、これから派生した「ITSクラス群」は学習目標との対応付けを持っていて、学習目標を習得するまで解説と演習を繰り返し提示する機能を実行する。それぞれのクラス群には、セクションクラス、最上位のセクションクラス、画面クラス、演習問題の画面クラスが存在する。

これらのクラスは継承関係にあるので、継承元クラスのメソッドやデータは継承先クラスに継承される。例えば、基底クラスで定義された要求伝播メソッドはすべてのクラスに継承される。また、継承先クラスでは、このような継承関係を用いて新たなコマンドの追加やカスタマイズを行う。例えば、「次画面」、「前画面」メソッドは基本セクションクラス

で定義されているが、ITS セクションクラスでも定義するとそちらが優先して使用される。これによって、基本セクションクラスでは単なるページめくり型であるが、ITS セクションクラスでは学習目標を用いた学習者適応機能を実装することができる。このようにクラスを派生させていくことで、元のクラスの機能を損なわずに、新たな機能追加やカスタマイズ要求に応じた拡張を行うことができる。

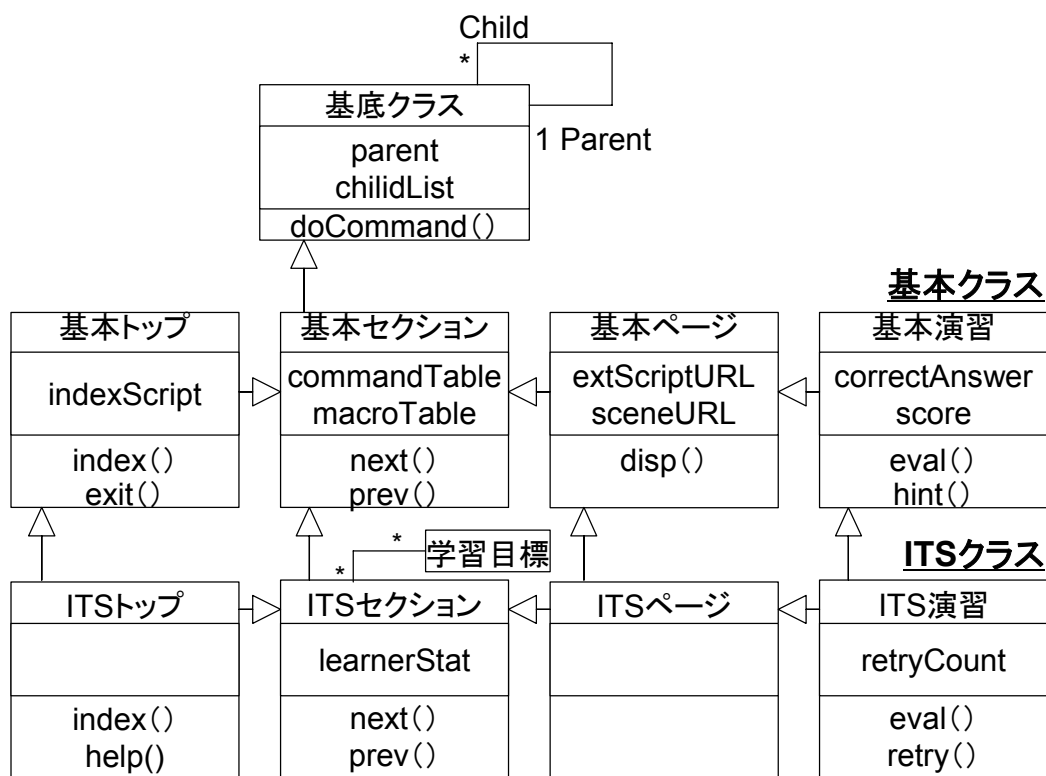


図 4.5 教材クラスの継承構成

4.4.1.2 要求伝播の実装

学習者がブラウザから入力したコマンドは、要求としてカレントインスタンスに送られる。要求の伝播は基底クラスのメソッドとして実装されている。各インスタンスでは要求種別と要求処理メソッドの対応表が個別に定義されている。要求伝播メソッドは、対応表を調べて該当する処理メソッドを呼び出す。対応する要求処理メソッドが対応表に存在しない場合や、要求処理メソッドが結果を返さなかった場合は、要求伝播メソッドは親教材インスタンスの要求伝播メソッドを呼び出す。

4.4.1.3 画面生成ロジックの実装

画面生成ロジックはブラウザに表示する HTML データを生成する。この際、C++で書かれた画面インスタンス側で保持されているデータを画面生成ロジックに引き渡す必要が生

じる。このようなデータは、例えば、学習者名、学習時間、演習問題のこれまでの採点結果、その時点で実行可能なコマンド、など、学習開始時ないし学習中に動的に決まるものである。このように実行時に変化するデータを引渡すため、画面生成ロジックを起動する際に、起動命令文字列に埋め込まれたマクロを画面オブジェクトが保持するデータの値で展開するようにした。

4.4.2 WBT サーバ

WBT サーバでは、学習者がログインして教材を起動すると、WBT プロセスがひとつ生成されて教材定義ファイルが読み込まれる。教材定義ファイルでは、教材ノードごとに教材クラスが指定されており、WBT プロセスは起動時に、教材クラスに対応するライブラリファイルを読み込む。

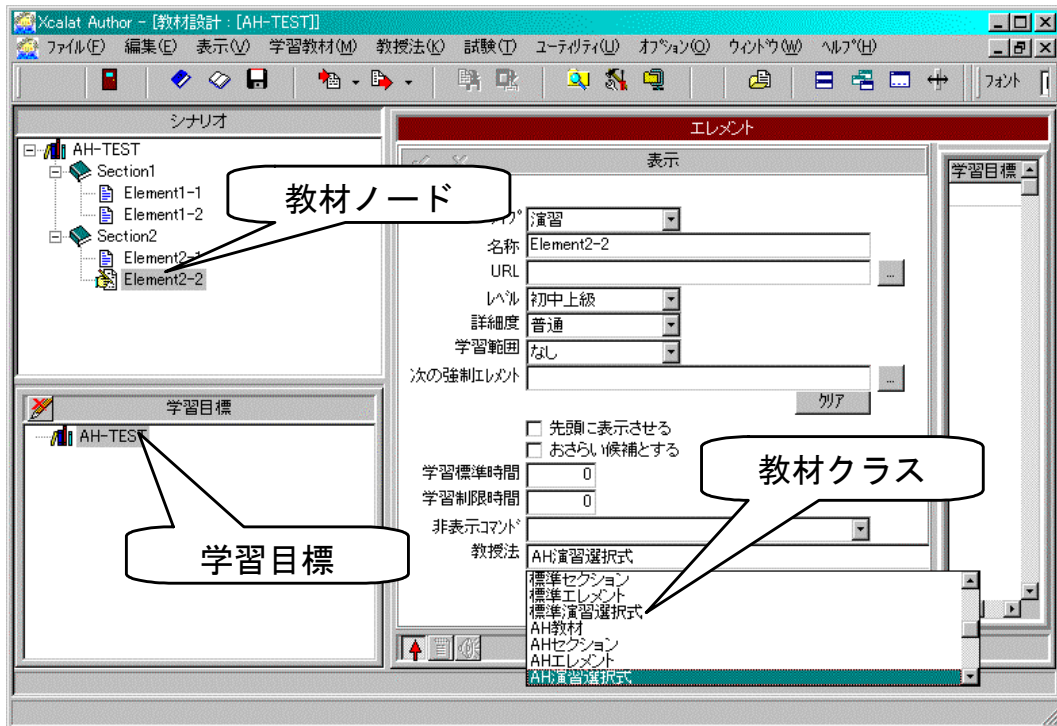
4.4.3 教材オーサリングツール

教材ノードごとの教材クラス指定を行う機能を有する教材オーサリングツールを開発した。図 4.6 に画面例を示す。(a)は教材作成画面で、左上フレームの教材ノードに対して、左下フレームで学習目標、右フレームで教材クラスを指定している。(b)では、教材クラスに対して、使用するライブラリファイルを指定している。

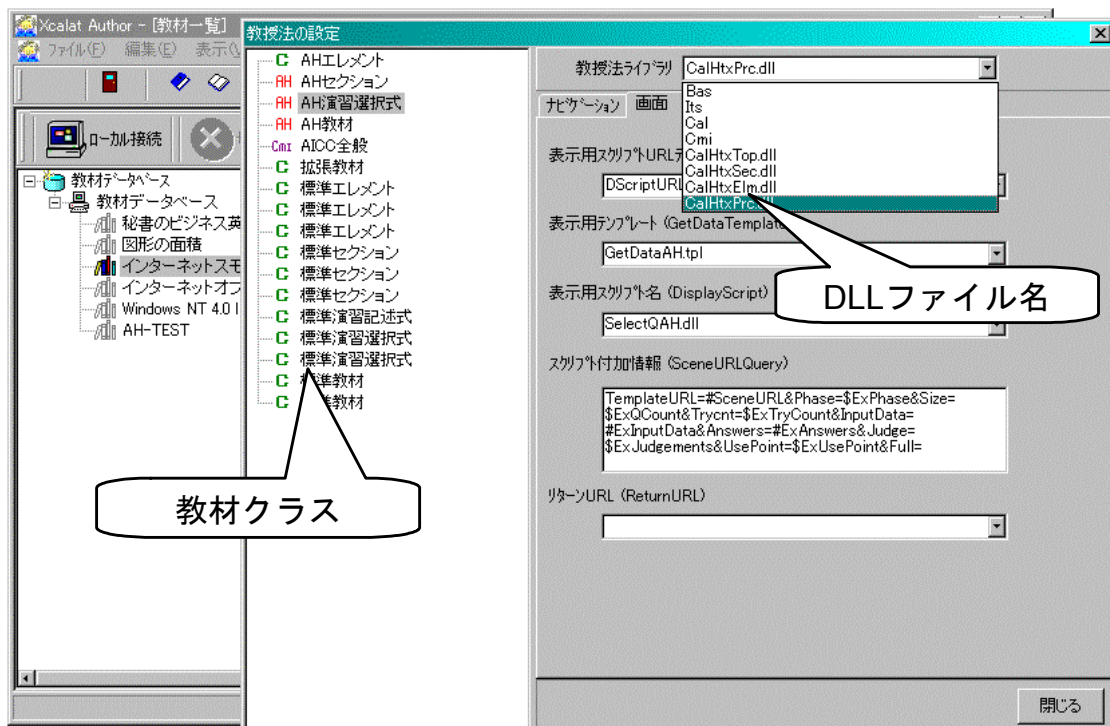
標準的な教材クラスは予め用意されているので、通常はこれを用いて教材を作成する。機能追加を行ないたい場合は、新たな教材クラスを作成してオーサリングツールに登録する。

4.4.4 システム動作環境

WBT システムは WindowsNT 上に構築されている。Web サーバには IIS(Internet Information Server)を用いている。前記のようにシステムは C++で記述されている。教材クラスの実体は DLL(Dynamic Link Library)ファイルで、学習開始時に教材オーサリングツールで指定した DLL ファイルが読み込まれる。



a)



b)

図 4.6 教材オーサリングツール

4.5 適用例

提案したシステムを利用して数種類の教材クラスを実装した。これらについて以下に述べる。

4.5.1 CALAT ネイティブ

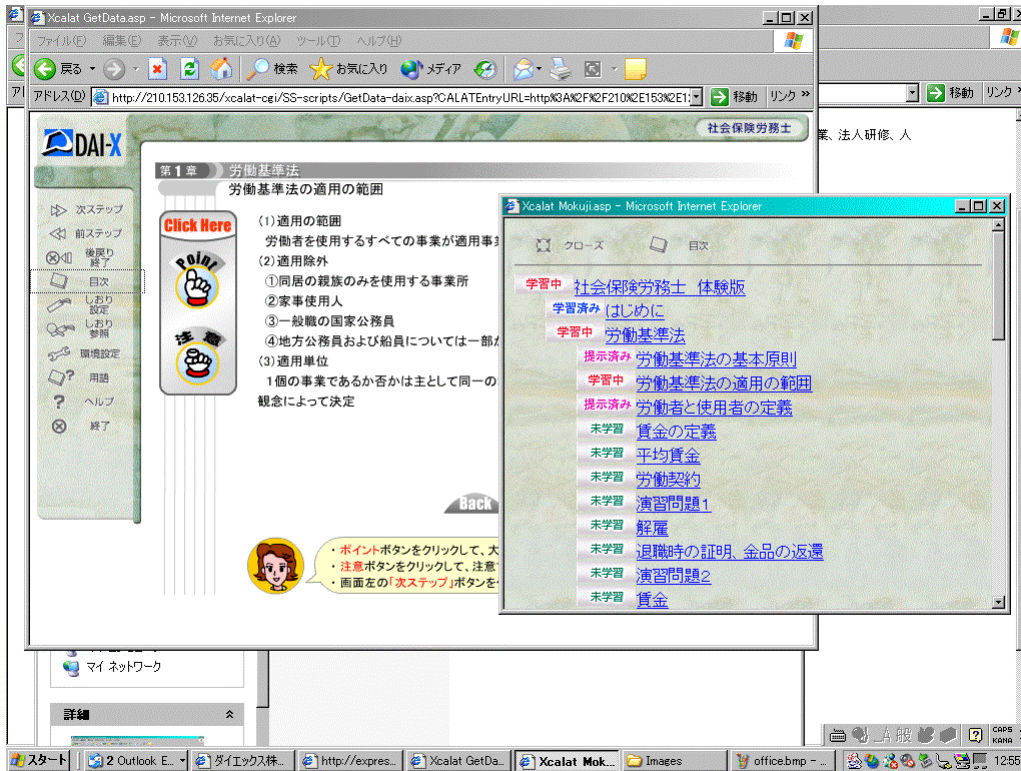
4.2.1 で述べたモジュール型の WBT システム CALAT (仲林 他 1997) の教材を本システムで実行する環境として、CALAT ネイティブクラス群を実装した。このカスタマイズは、4.2.2 の分類では、「(2)教材群」への「(c)教授戦略の追加」に相当する大規模なカスタマイズである。

CALAT ネイティブクラス群は、4.4.1.1 で述べた ITS クラス群の派生クラスとして実装されていて、以下のような学習者適応機能を実現する。すなわち、教授戦略は学習者が各章に関連付けられた学習目標を習得するように教材を提示する。通常は解説教材を提示してから演習教材を提示する。もし、演習教材で学習目標が習得できなかつたら復習モードに入り、習得できなかった学習目標に関連付けられた解説教材を提示する。また、教材の難易度と学習者の理解度を管理していて、演習の成績が良く理解度が高いと判断された学習者には難易度の高い教材だけを提示し、そうでない学習者には難易度の低い教材から順に提示する、といった学習者適応機能を実行する。図 4.7 に画面例を示す。

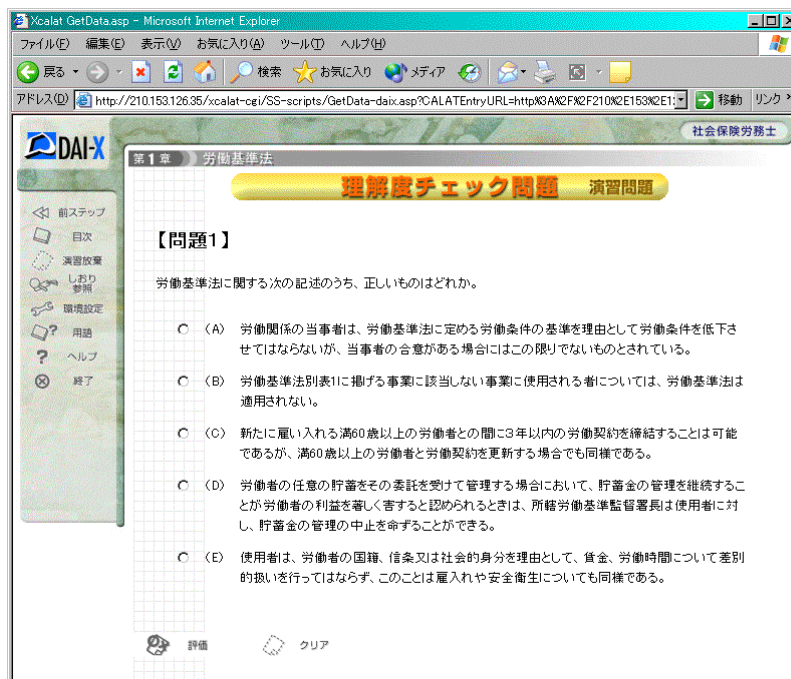
4.5.2 SCORM1.2

SCORM 規格は WBT コンテンツの標準規格である (Fallon & Brown 2003, 仲林 2002a, 仲林 2002b)。広く普及している SCORM1.2 規格では、複雑な教授戦略は規定されていないが、教材ノードの習得状態に基づく前提条件を記述することができ、前提を満たさないノードを学習することはできない。SCORM 規格の特徴のひとつは、SCO(Sharable Content Object)と呼ばれるブラウザに表示されるコンテンツと WBT サーバの間のデータ通信プロトコルを規格として定めている点である。これを定めることで、SCO を異なるベンダの WBT サーバと組み合わせても動作するため、SCO の再利用が可能となる。

本システムでは、前提条件を解釈する教授戦略を実装したセクションクラスを作成した。また、SCO と WBT サーバの間の通信プロトコルについては、WBT サーバ側で SCO 毎の学習進捗データや学習時間の管理が必要となるので、これらを実現するためのデータ項目およびメソッドを有する画面オブジェクトクラスを作成した。このカスタマイズも、4.2.2 の分類で「(2)教材群」への「(c)教授戦略の追加」に相当する。



a)



b)

図 4.7 CALAT 教材画面例

4.5.3 対話型シミュレーション

WWW の対話型環境を活かした教材の例としてシミュレーション教材を作成した (Nakabayashi et al. 1998). これは機器の操作を学習するためのものである. 機器の動作は状態遷移モデルで表現され, ある目的を満たすための正しい操作が状態の系列で表わされる. シミュレーション環境には, 機器の正しい操作を学ぶ学習モード, 自身で操作を行ってみる実習モード, 自身の操作と正しい操作を比較する比較モードが設けられている. 画面例を図 4.8 に示す.

これらの機能は以下のように実装されている. ブラウザ側には機器のアニメーションと状態遷移エンジンが置かれている. サーバ側の画面インスタンスは画面生成ロジックを経由して, 上記のどのモードでアニメーションを動作させるかを状態遷移エンジンに指示する. 実習モードで操作した場合は, 学習者の操作手順が画面オブジェクトに送られ, 正誤判定や正しい手順との比較が行われる. これによって学習者の習得状態を更新される. このあと, 画面インスタンスは, 他の動作モードでアニメーションを表示するか, 上位のセクションインスタンスに要求を送るかを決定する. セクションインスタンスに要求が送られた場合は, 教授戦略により次に表示する画面インスタンスが選択される. このカスタマイズは, 4.3.4 の例 3 に示したものである.

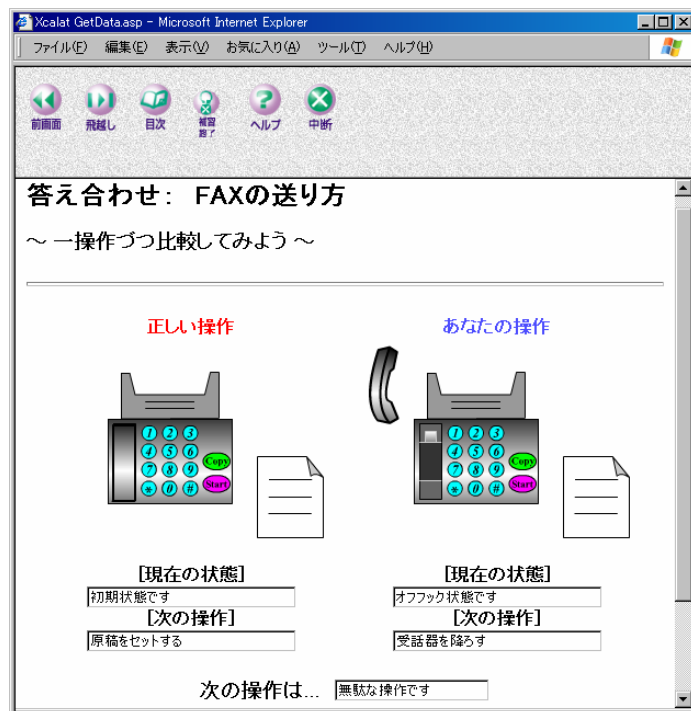
4.6 関連研究

4.6.1 教育支援システム分野の関連研究

ITS や WBT などの教育支援システムにおいて, 構成要素をコンポーネント化してシステムやコンテンツの相互運用性, 再利用性を高めることの重要性は以前から指摘されている (Murray et al. 2003). Roschelle らはコンポーネントを自由に組み合わせて教育環境を構築するアーキテクチャを提案している (Roschelle et al. 1998) が, 主眼は表・グラフといった GUI コンポーネントと背後の物理・数学モデルを表わすコンポーネントを連携させた物理・数学教育におけるシミュレーション環境の実現にあり, 教授戦略との連携については扱われていない. Ritter らはコンポーネント化された ITS の枠組みを提案している (Ritter et al. 2003) が, コンポーネントの単位は「ツール (GUI)」, 「チュータエージェント (教授戦略)」, 「カリキュラムオーガナイザ (教材)」となっていて, 従来の ITS におけるモジュールの分け方を踏襲している. 谷川らもオブジェクト指向技術を用いた ITS システムを提案している (谷川・富士 1998, 谷川・富士 2003) が, 教材と教授戦略を別のオブジェクトとして捉えており, 本論文のように, 教授戦略, ユーザーインターフェースを統合した教材オブジェクトを複数組み合わせることで全体システムを構築するという枠組みとはアプローチが異なる.



a)



b)

図 4.8 対話型シミュレーション

4.6.2 オブジェクト指向分野の関連技術

WBT コンテンツをオブジェクトと捉えた場合、同一ないし類似の機能を有するインスタンスを多数簡易に生成する必要がある。そこで、本手法では、予め教材クラスを用意し、オーサリングツールでオブジェクトの組み合わせだけを定義して、インスタンスを作成できるようにしている。このようにオブジェクトの組み合わせの定義だけでコンテンツの作成ができるように、4.3 で述べたようなオブジェクト間の情報のやりとりを、WBT システムの一般的な機能を満たすように規定した点が本手法の特徴である。

オブジェクト指向システムにおける一般的なカスタマイズの技法としては、(1)派生クラスの作成、(2)機能追加用通信手段の用意、などが考えられる。本手法でも、(1)は、4.4.1.1 で示したように、教材オブジェクトクラスを作成する際に用いている。(2)は今回は採用していないが、作成後の教材オブジェクトインスタンスをさらに実行環境においてカスタマイズするような場合には有効な手法と考えられる。

4.7 結言

WBT システムに対して、教材オブジェクトの考え方を適用して、システムの拡張性向上を図る試みについて述べた。木構造型の WBT 教材の各ノードに対応した教材オブジェクトを構成要素としてシステムを構成した。教授戦略、ユーザインターフェースなどの機能を有する教材クラスを用意し、学習時には教材定義に従い、教材クラスをインスタンス化した教材インスタンスを実行する。複数の教材インスタンスが連携して動作するためのコマンド処理方式を規定し、教材クラスの追加によって提示教材選択ロジックや画面生成ロジックのカスタマイズ・機能拡張が容易に行えることを目指した。具体的な適用例を通じて本システムの有効性を示した。本システムは Xcalat として商品化されている。複数種類の教材タイプが実装されており、数 100 本の教材が実用的に用いられている。

第5章 教材オブジェクトに基づく Web ベーステストシステム

5.1 諸言

近年、コンピュータテストに対する関心が高まっている。テスト理論に関しては古くから研究が行われてきたが(池田 1994), インストラクショナルデザイン (Dick et al. 2001, Lee & Owens2000, 鈴木 2005a, 鈴木 2005b) の認知度が高まり教育研修における評価フェーズの重要性が意識されるようになったこと, 企業内資格を含め各種資格試験が増加したこと, などが最近の新たな要因として考えられる。学校教育の現場で利用可能な実用的なシステムの開発例も報告されており(永岡 2000, 中山 1999), コンピュータテストを実施するために十分なハードウェア環境が整い, eラーニングシステムに付随の使いやすいテストツールが増えてきたことで(先進学習基盤協議会 2003), コンピュータテストは今後より広く普及していくことが予想される。

本章では, 前章で示した WBT システムと同様, 教材オブジェクトの考え方によってシステムの拡張性向上を図る, というアプローチを適用した Web ベーステストシステムについて述べる。このシステムでは, テスティング処理を, 大きく「出題選択」, 「表示」, 「応答」, 「集約」の4つの処理に分け, この4つの処理要素からシステムを構成する。各々の処理要素に対する実際の処理機能を実装した教材オブジェクトを事前に用意し, テスト実施時には, 教材定義に従ってこれらの教材オブジェクトを呼び出して実行する構成をとる。教材オブジェクトの種別を後から追加することによって, 出題問題選択方法, 問題形式, 採点方法などのカスタマイズ・機能追加が可能となっている。

以下, 5.2 で Web ベーステストシステムの課題と本研究における解決方針について述べる。5.3 で, 本システムにおいて設問データと評価結果データの記述形式として採用した QTI (Question and Test Interoperability) 規格 (IMS Global Learning Consortium 2003b) の概要を述べる。5.4 でシステム設計の前提となるテスト実行形式のモデル化について述べる。5.5 でシステムの検討内容を示し, 5.6 で開発したシステムの構成を示す。5.7 で開発したシステムを医師国家試験対応の模擬試験に適用した結果を述べる。

5.2 テスティングシステムの課題と解決方針

5.2.1 テスティングシステムの課題

コンピュータテストのメリットとして以下の2点が挙げられる。

- 設問データが電子化され, 過去に作成した設問や他組織で作成した設問を含めて, 多数の設問が再利用可能となること。
- 実施結果も電子化され, 学習者特性の把握, 設問特性の把握が過去の実施結果も含め

て容易に行えるようになること。

但し、このようなメリットを十分に活かすためには、

- 設問データ、評価結果データが流通・再利用可能なように標準化されたデータフォーマットで作成、格納されていること
- このようなデータを扱うためのテストシステムや評価用ツールが整備されていること

が重要である。すなわち、テストシステムをコンテンツとプラットフォームに分離し、コンテンツの作成を容易化するとともに、コンテンツと評価結果のデータ形式を標準化することが、コンピュータテストの利点を活かして普及を促進するために必須の条件である。

しかし、このようにシステムをコンテンツとプラットフォームに分離することは、3.に述べた WBT システムと同様、様々なカスタマイズ要求に応えることが難しくなる、という問題点を伴う。コンピュータテストは、設問表示や解答入力のみならず、出題順序決定、採点、学習者へのフィードバック、結果集約、など、様々な処理から成り立っており、それぞれの処理において、設問作成者やテスト実施者が様々な変化する要求仕様を課する可能性がある。従って、これらの要求仕様を事前にすべて確定した上で、テストシステムを設計開発することは困難である。

このように、テストシステムに対しては、

- (1) 設問データ、評価結果データの標準化
- (2) 後からのカスタマイズや機能拡張可能なシステム構成

という二つの課題がある。

5.2.2 解決方針

前節で述べた二つの課題のうち、(1)のテストデータの標準化に関しては、eラーニング技術標準化（仲林 2002a, 仲林 2002b）の一貫として IMS (IMS Global Learning Consortium, Inc.) が策定した QTI (Question and Test Interoperability) 規格が存在する (IMS Global Learning Consortium 2003b)。QTI 規格は設問データと評価結果データに関する標準規格であり、各種設問形式毎の属性データの指定法や複数の結果集約アルゴリズムを規定している。また、QTI 規格に準拠したオーサリングツールやテストシステムも市販されるようになりつつある (Question Mark Computing Ltd. 2003)。

一方、(2)の機能拡張に関して、本研究では、2.3.2 に述べた教材オブジェクトによるアプローチを採る。このアプローチでは、システムを、教材定義、教材オブジェクト、プラットフォームから構成する。Web ベーステストシステムとして必要な機能要素が教材オブジェクトとして用意され、学習時には、別途作成した教材定義に従って、プラットフォームが複数の教材オブジェクトを連携させて、Web ベーステストシステム全体の機能を実現する。後から機能の追加が必要になった場合は、その機能に必要な教材オブジェクトを追加し、既存の教材オブジェクトと組み合わせて全体の要求仕様を満たすように

する。

上記の QTI 規格では典型的な設問形式や採点アルゴリズムを複数規定しており，設問データの記述の中で，どのような設問形式や採点アルゴリズムを用いるかを指定するようになっている。また，QTI 規格ではテストングにおけるあらゆる機能がすべて規定されているわけではないが，利用者による機能拡張定義を許すデータフォーマットを採用している。例えば，出題の選択機能に関しては，現状固定順序か単純なランダム選択しか規定されておらず，アダプティブテスト（池田 1994）などコンピュータテストの特徴的で重要な機能は，まだ今後の拡張として残されている。また，一般に使用される設問形式や採点アルゴリズムも規格に記載されたものに限定されているわけではなく，新しい形式やアルゴリズムが設問作成者や評価者によって独自に追加される可能性がある。これらについて QTI 規格では，機能拡張用の記述を行うことができるようになっている。

そこで，本システムでは，教材定義として QTI 規格を用い，設問データ記述に従って，異なる設問形式や採点アルゴリズム，機能拡張を実装した教材オブジェクトを選択して実行し，全体的なテストング機能を実現する構成を採ることとした。次の 5.3 で，QTI 規格の内容について説明し，5.4 以降で開発したシステムについて述べる。

5.3 QTI 規格

QTI 規格はオンラインテストングにおける設問データと評価結果データに関する標準規格である。図 5.1 にこの関係を示す。設問データの規格は ASI (Assessment, Section, Item) 規格と呼ばれ，評価結果データの規格は RR (Result Reporting) 規格と呼ばれる。

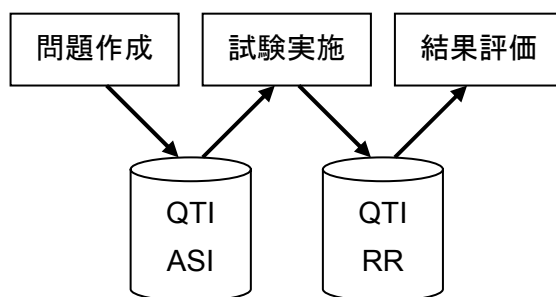


図 5.1 QTI 規格の構成

ASI 規格の構成を図 5.2 に示す。Assessment は試験全体に相当し，複数の Section からなる。Section は試験の論理的なひとつのかたまりで，さらに他の Section や Item からなる。Item はひとつの設問に相当する。このように QTI 規格では階層的に試験の構成を記述することができる。Section では下位の Section や Item の出題順序付けの方法，学習者へのフィードバックの方法（応答），結果集約（採点）の方法などを指定することができる。

Item では、設問の内容（問題文、選択肢、正誤判定の方法、などを含む）、設問の表示方法、応答、などを記述する。また、Section や Item にはメタデータ（IMS Global Learning Consortium 2001）を付与して、設問や設問群の対象受験者、難易度、学習目標、などの属性値を記述できる。これらの属性値は出題選択時の条件として利用可能である。

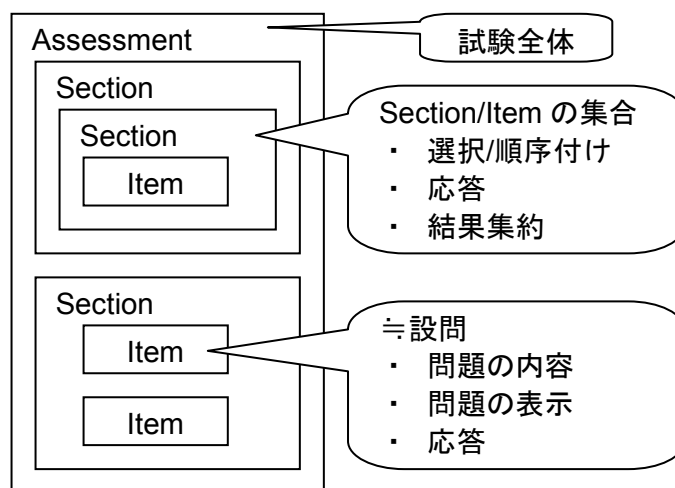


図 5.2 ASI 規格の構成

RR 規格も ASI 規格に対応した階層構成を有しており、Section_result では出題した下位の Section 数や Item 数、Section 全体の得点、所要時間など、Item_result では設問に対する学習者の解答、正誤判定、得点、所要時間などを記録するためのフォーマットが規定されている。

5.4 テスト実行形式のモデル化

QTI 規格はオンラインテストのための汎用的な規格として設計されている。特に、設問群の階層構成、設問の表示形式、回答形式、評価方法、といった静的な属性は詳細に規定されている。しかし、実際のコンピュータテストでは動的なテストの実行形式も定める必要がある。具体的には、設問の表示や解答結果の評価を一問ごとに行うのか問題群単位で行うかによってテストの実行方法は変わってくる。また、これによってシステムの設計方針や機能は大きく左右される。

そこで、システムの検討に先立ち、典型的なテスト実行形式のモデル化を行った。テスト実行の処理要素を仮定し、これらの処理を一問ごとに行うのか複数問一括で行うのかによってテスト実行形式を分類した。ここでテスト実行処理要素は、QTI 規格で規定されている以下の 4 つとした。

- 出題選択：設問群から出題する設問を選択し順序を決定する。

- 表示：設問の形式（真偽，多肢選択，穴埋め，など）に従って，設問の内容（問題文，選択肢，解答欄，など）をレンダリング（表示データに変換）する．
- 応答：学習者の解答を設問の判断基準に従って評価（正誤判定）する．解答内容に対して，必要に応じてフィードバック・ヒントを返す．
- 集約：設問の評価結果に基づき，設問群に対して指定されたアルゴリズムで採点を行う．

整理した結果を表 5.1 に示す．(1) は通常のペーパーテストの形式ですべての設問が同時に表示されており，すべての設問に解答後，まとめて採点を行う．(2) は問題の表示を一問ごとに行うものであるがその他は (1) と同じである．(3) は TOEIC のヒアリングのように問題が次々と提示され，一旦提示された問題を再度表示することが許されない形式である．ただし，アダプティブテストとは異なり，出題される設問はテスト開始時に決まっている．(4) は学習者の評価ではなく学習を目的とするテストで，一問ごとに解答に対するフィードバックやヒントを提示する形式である．(5) は学習者の解答に依って次に出題する設問を決定する形式で，アダプティブテストやロールプレイシミュレーション的なテストはこの形式になる．

表 5.1 テスト実行形式と各処理要素の設問処理単位

テスト実行形式	出題 選択	表示	応答	集約	時間 制限	問題 移動 ⁺)
(1) 一般のペーパーテスト	複 [*])	複	複	複	複	可
(2) 一般のコンピュータテスト	複	一	複	複	複	可
(3) TOEIC のヒアリング	複	一	複	複	一	否
(4) 一問ごとのドリル	複	一	一	複	一／複	可／否
(5) シミュレーション／アダプ ティブ	一	一	一	複	一／複	否

*) 複は複数問題単位に，一は一問単位に処理を行うことを示す．

+) 問題移動とは受験者による設問間の自由な移動を意味する．可は受験者による自由な移動が可能，否は不可能，を示す．

このうち，(1) から (4) の形式では，事前に出題する設問が決まっているにせよ，設問群からランダムに設問を選択する処理を行うにせよ，最初にまとめて出題選択処理を行い，出題する設問を決定することができる．しかし，(5) の形式では解答内容に応じて次に出題する設問が変わるため，一問毎に出題選択処理を行うことが必須である．また，応答についても，(4) や (5) の形式では一問ごとに正誤判定を行うことが不可欠である．このように，実現対象とするテスト実行形式の決定は，システムの設計方針に大きな影響を与える．

5.5 システム検討

5.5.1 教材オブジェクトに基づくシステム構成

5.3 で述べたように、QTI 規格で規定されている処理要素は「出題選択」、「表示」、「応答」、「集約」の 4 つである。

QTI 規格ではこれらの処理のそれぞれに対して、指定可能な処理種別を定めている。例えば表示処理については、設問解答の論理的な形式（論理識別子、数値、座標、文字列、など）と解答形式（多肢選択、並べ替え、穴埋め、スライダ、など）の組み合わせから、27 種の表示種別が規格書に例示されている。また、集約処理については、採点における得点の与え方、重み付けの方法などから合計 10 種の得点算出アルゴリズムが示されている。しかし、これらの処理種別は規格書に記載されたものに限定されるわけではなく、新しい処理種別が追加されたり、教材作成者や評価者が独自に処理を定義することが考えられる。実際、QTI 規格では拡張用のデータ項目が規定されていて、これによって独自の処理内容の追加が可能となっている。システムの実現を考える上でも、これだけ多種に渡る処理種別を効率的に実装するためには、システムの構成要素を部品化した構成方法を採用する必要がある。

そこで、本システムでは、上記の 4 つの各処理要素（出題選択、表示、応答、集約）に対して、処理種別に応じた教材オブジェクトを作成することで、新しい処理の追加を可能とする構成を採用することとした。図 5.3 にこの構成の概要を示す。教材定義には QTI ASI 規格を用いる。教材定義中の Assessment, Section, Item では ASI 規格に従ってそれぞれの単位での処理種別が記述されている。一方、教材クラスとして、出題選択、表示、応答、集約の処理要素の各処理種別で必要とされる機能を実装したプログラム部品が用意される。実行時には、教材定義中の処理種別の記述に従って、必要な教材クラスがプラットフォームに読み込まれてインスタンス化される。このような構成を採用することによって、新たな処理種別が加わったときには、その処理を実装した教材クラスを作成すればシステムの機能を拡張することが可能となる。教材オブジェクトの具体的な実現方法については 5.6 で述べる。

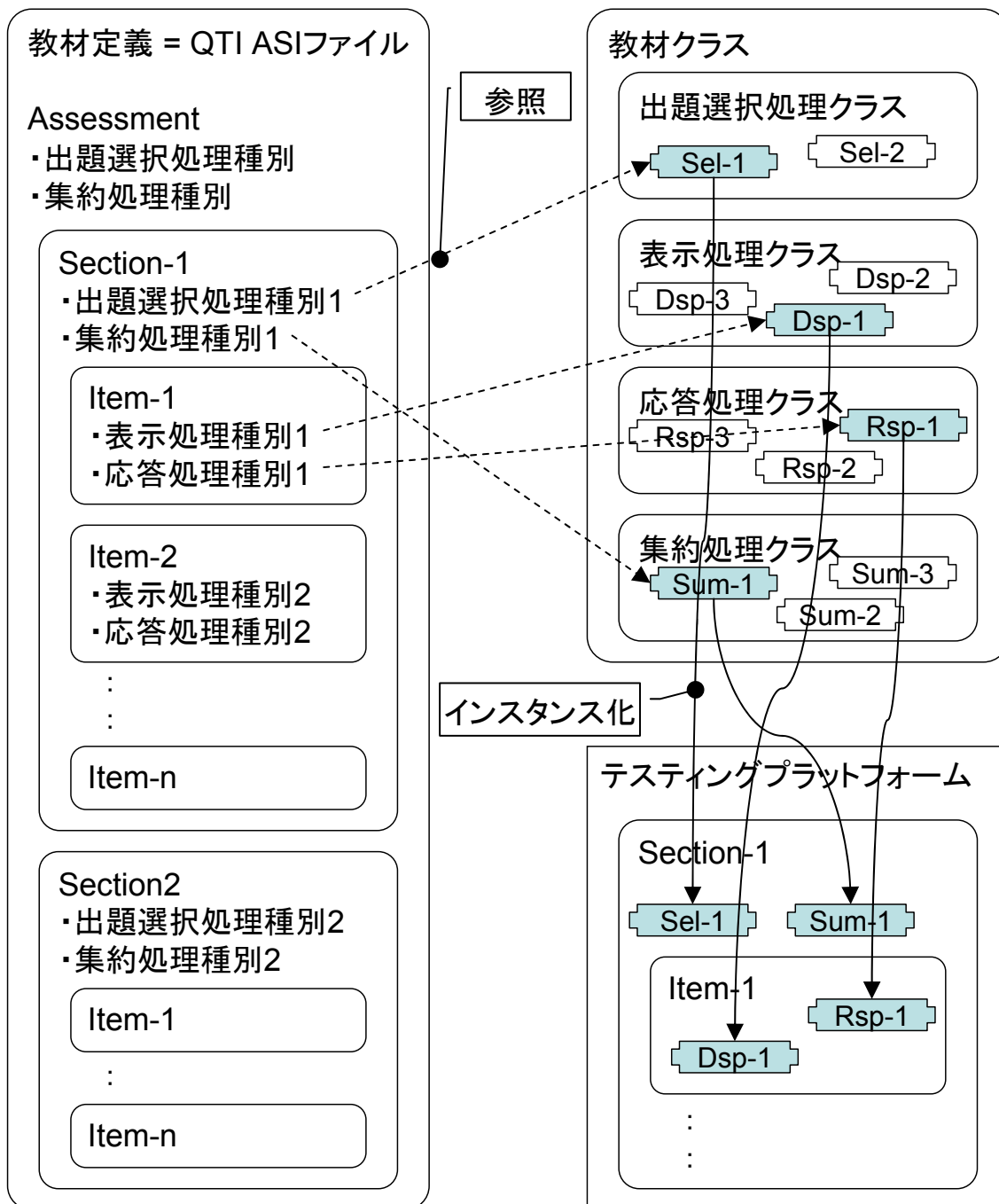


図 5.3 教材オブジェクトに基づくテストシステムの構成

5.5.2 テスト実行形式と設問処理単位

5.4 で述べたように、実現対象とするテスト実行形式の決定は、システムの設計方針に大きな影響を与える。

テスト実行形式を限定すると、対象とするテスト実行形式に合わせて、問題の表示処理や解答結果の評価処理における設問処理単位を最適化できるため、データベースからの設問データの読み出しや評価結果の格納などの性能を向上できる可能性があるが、一方、他のテスト実行形式への対応は難しくなる。逆に、様々なテスト実行形式へ対応するためには、各処理要素における処理を単純化して設問処理単位を一問ごととし、複数問をまとめた処理に対しては外部の制御部で処理を繰り返す構成とすることが考えられる。このような構成では、様々なテスト実行形式に柔軟に対応しやすくなるが、反面、処理要素間のデータの受け渡しが一問ごとに発生するなど処理性能の悪化が予想される。

このようにどちらの方針を採用するかはトレードオフの関係にあるが、本システムでは、以下の二つの理由から後者の方針を採用した。

- 汎用的なオンラインテストシステムとするため、表 5.1 に示した各種のテスト実行形式に対応可能とする。
- 5.5.1 で述べたように教材オブジェクトによる機能拡張を可能とするため、各処理要素の処理単位を単純化して一問ごととし、教材オブジェクトの開発を容易にする。

また、QTI 規格では Section の定義を用いて、試験の構成を任意に階層化でき、出題選択や集約の方法は Section ごとに設定できるので、Section ごとにテスト実行形式を切り替えられるようにした。これによって、例えば TOEIC のように、表 5.1 の形式(3) (ヒアリング) と形式(1) (リーディング) が組み合わさったような試験を実行することが可能となる。

なお、表 5.1 に示したテスト実行形式のうち、(1) の形式は (2) と論理的に等価であると考え、(2) の形式だけを扱うことにした。また、(5) については現在の QTI 規格ではアダプティブテストなどに関する規定がないため、現段階では実装していない。

5.5.3 結果評価機能

結果評価では、RR 規格に準拠した形式で格納された試験実施結果データに対して、各種の統計処理やテスト理論に基づく処理を行う。処理内容・アルゴリズム・結果表示方法などは、利用者によって追加、カスタマイズが容易に行えることが望ましい。一方、RR 規格ではデータは XML を用いて表現されており、そのままでは必ずしも扱いが容易とは言えない。

そこで RR 規格のデータにアクセスするための標準的なインターフェースを設け、これを用いて利用者が結果評価プログラムを容易に追加可能な構成を採用することとした。詳細は 5.6 で述べる。

5.6 システム構成

システムは WWW(World-Wide Web)を用いたサーバ・クライアント構成をとる。基本的な機能はすべてサーバ側で実装されている。処理ロジックは Java で、画面表示は JSP で実装した。ASI データおよび RR データは XML データベースに格納される。全体構成を図 5.4 に示す。

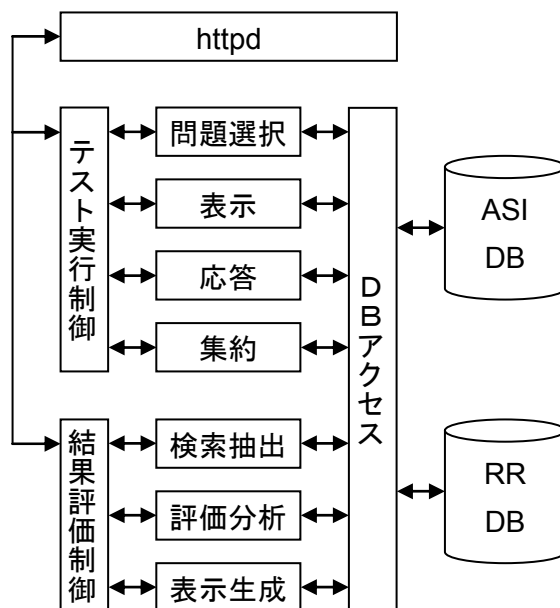


図 5.4 テスティングシステムの全体構成

5.6.1 各処理要素の実装

「出題選択」、「表示」、「応答」、「集約」の各処理要素の実装概要を以下に示す。

5.6.1.1 出題選択処理

出題選択処理は、ASI データベースの Section に対する選択処理と順序付け処理を行う。選択処理では、Section 中のすべて、ないし指定した個数の Item を選択する。この際、Item に付与されたメタデータの属性値を選択の条件に加えることができる。順序付け処理は、選択された Item を格納順ないしランダムに並べ、後段の処理に引き渡す。これらの選択処理および順序付け処理は種別ごとに教材オブジェクトとして実装されている。教材オブジェクトの実体は Java のクラスである。アダプティブテストなど新しい出題選択処理を実装する際には、対応する処理実装した教材オブジェクトの Java クラスを追加すればよい。

5.6.1.2 表示処理

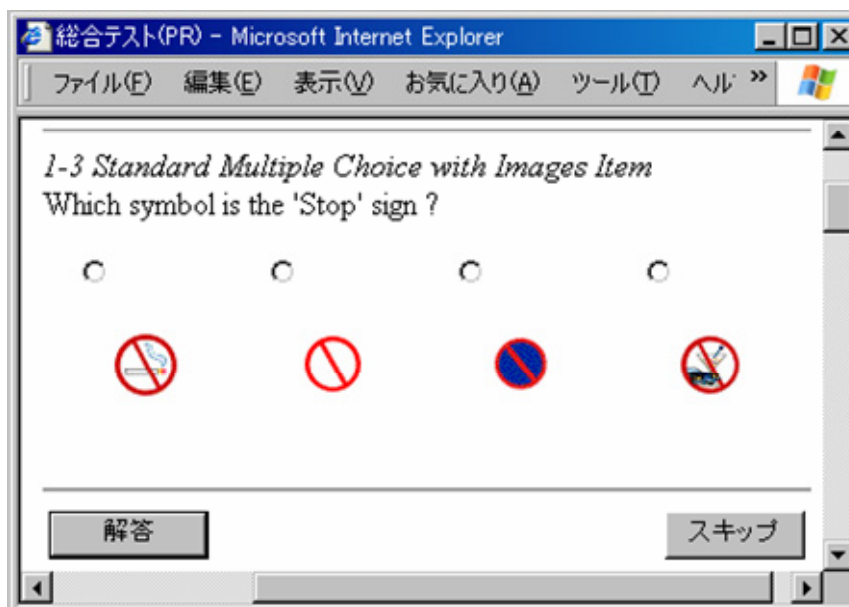
表示処理は、出題選択処理で選ばれた Item の応答タイプおよびレンダリングタイプの組み合わせに従って WWW ブラウザに表示する問題解答画面を生成する。応答タイプは設問

の解答の論理的な形式であり、QTI 規格では、数値、文字列、論理識別子など 5 つの形式が規定されている。レンダリングタイプは設問の解答の GUI 形式で、QTI 規格では、選択、穴埋め、スライダ、ホットスポットの 4 つが規定されている。さらに選択肢としてテキスト、画像、音声を用いたり、水平、垂直のいずれのスライダを用いるかなど、細かい指定が可能である。また、応答タイプおよびレンダリングタイプそれぞれで新しいタイプを追加定義することができる。これらの表示処理は、応答タイプおよびレンダリングタイプに対応した教材オブジェクトとして実装されている。教材オブジェクトの実体は JSP ファイルである。これらの JSP ファイルを変更することで特定のタイプの表示形式を修正でき、新しい JSP ファイルを追加することで新しい表示タイプの追加に対応できる。図 5.5 に実装した表示処理の例を示す。

5.6.1.3 応答処理

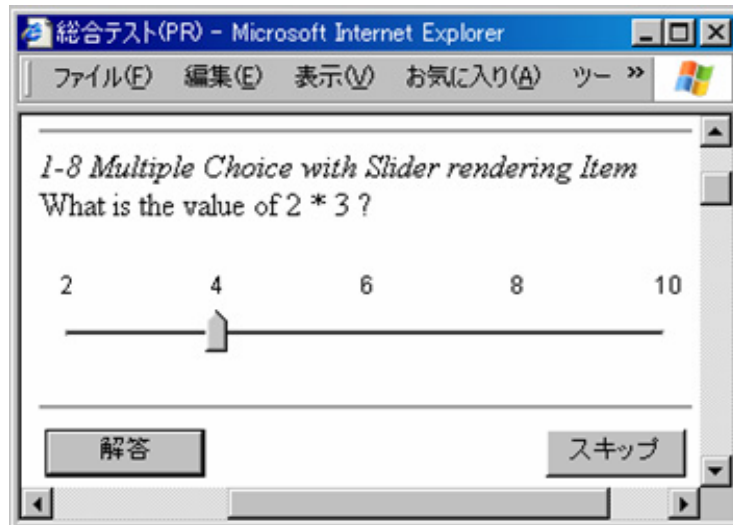
応答処理では、表示処理で WWW ブラウザに出力された Item に対する受験者からの解答を受け取り、正誤判定、得点付け、受験者へのフィードバック、といった処理を行う。処理結果は RR データベースに格納される。

QTI 規格では、解答の判定のために 5 種の応答タイプに対して 18 種の論理演算子(not, and, or)や比較演算子(=, <, > など)が規定されており、これらを個々の演算子に対応する教材オブジェクトとして Java のクラスで実装した。新たな判定論理のための拡張は同様な Java のクラスを追加することで対応可能となる。

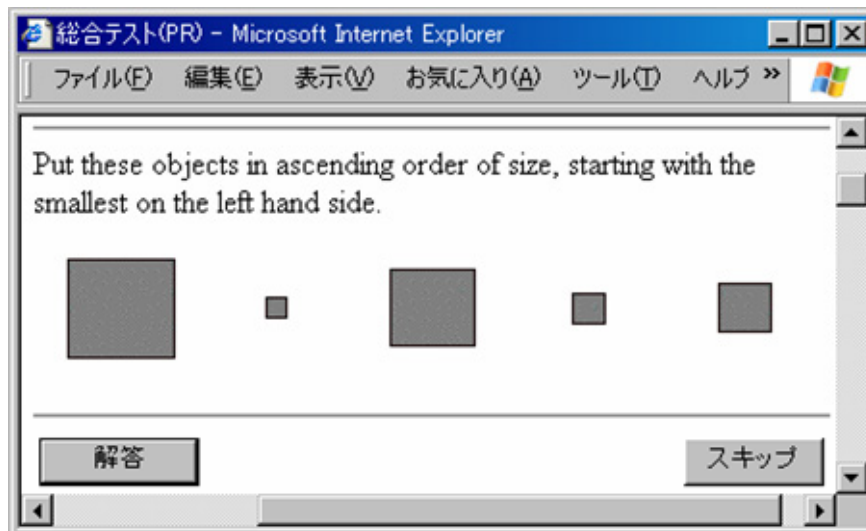


a) 論理識別子・選択タイプ（画像）

図 5.5 表示処理の例



b) 数値・スライダタイプ



c) 論理識別子・拡張タイプ（並べ替え）

図 5.5 （続き）

5.6.1.4 集約処理

集約処理では, RR データベースに格納された Item の評価結果を Section や Assessment のレベルで集約して採点し, 最終的にテスト全体としての合否判定や得点付けを行う. 集約は階層的に行われる. すなわち, Section では配下の Item や Section の結果を集約し, Assessment では配下の Section の結果を集約する.

集約処理の中心は **Scoremodel** と呼ばれる得点付けのアルゴリズムである。QTI 規格では、正答数、得点総和、重み付き得点総和、など 10 種のアルゴリズムが規定されており、これらに対応する教材オブジェクトとして **Java** のクラスで実装した。新たな得点付けアルゴリズムを追加する際には、アルゴリズムを実装した **Java** のクラスを追加すれば良い。図 5.6 に、ASI ファイル中の得点付けアルゴリズム指定と実際に処理内容を実装した **Java** モジュールの対応例を示す。アルゴリズム名に対応した **Java** モジュールが **Section** の得点付け処理に使用される。

5.6.2 テスト実行制御

ASI 階層を利用した試験構成に対応するため、表 5.1 に示すテスト実行形式において必要となるデータセットを各階層に対応付けて保持し、テスト実行制御部で管理する。具体的には、その **Section** で出題する **Section/Item** のリスト、出題選択処理の結果得られる出題順、現在出題中の **Item**、学習者の **Item** に対する解答内容と履歴（解答した、未解答でスキップした、後戻りした、など）、**Section/Item** での時間制限と経過時間、などが階層ごとに管理される。

また、テスト実行制御部は、5.6.1.1 から 5.6.1.4 に述べた「出題選択」、「表示」、「応答」、「集約」の各教材オブジェクトを設問ごとに順次呼び出して処理を実行させる。設問に関する情報は ASI データベースから読み出され、結果に関する情報は RR データベースに格納されて、各教材オブジェクト間で受け渡される。

5.6.3 結果評価

結果評価機能は、検索抽出部、評価分析部、表示生成部から構成される。QTI の RR 規格は、基本的に一人の学習者の一回のテストの結果に関するログであり、また XML 形式で記述されているため、統計処理などを行うためにはそのままでは処理しにくい。そこで、検索抽出部では、学習者、学習者群に対する得点・所要時間などの試験実施結果を取り出すインターフェースを提供している。

評価分析部は、統計処理やテスト理論に基づく処理を実行する部分である。今回は、一般的な統計処理（平均点、偏差値、など）、S-P 表、古典テスト理論（大友 1996）に基づく処理（項目困難度、項目弁別力、など）、項目応答理論（大友 1996）に基づく処理（1 パラメータロジスティックモデルに基づく項目困難度）などを実装した。表示生成部は評価分析部で得られた結果を表示する部分で、HTML への出力のほか、CSV 形式の出力や Excel でのグラフ表示を行う。

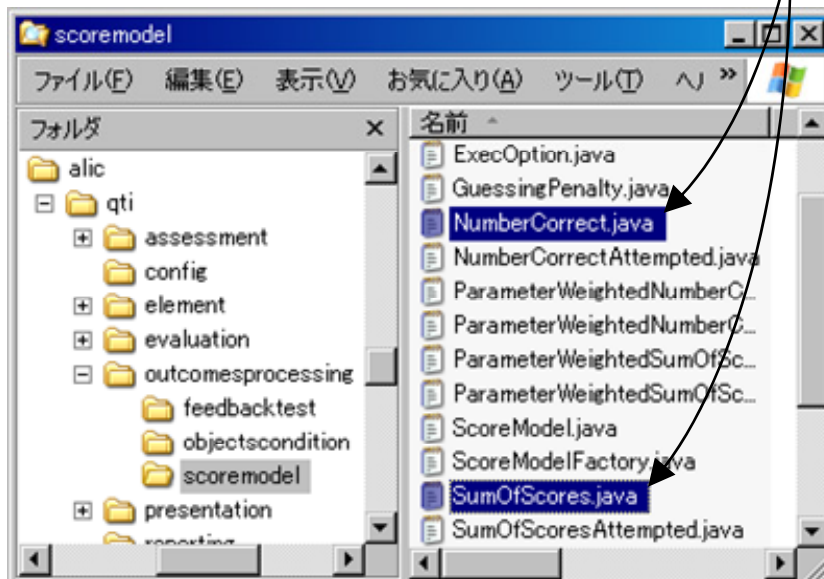
評価分析部、表示生成部にモジュールの追加や修正を行うことで新たな結果評価処理を追加することができる。いくつかの表示例を図 5.7 に示す。

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
<!DOCTYPE questestinterop SYSTEM "ims_qtiasivlp2.dtd" []>
<questestinterop>
  <assessment title="東京女子医科大実証実験テストコンテンツ (1)"
  ident="twmu-A01">
    <outcomes_processing scoremodel="NumberCorrect">
      <outcomes>
        <declar defaultval="0" varname="COUNT" vartype="Integer" />
      </outcomes>
    </outcomes_processing>
    <outcomes_processing scoremodel="SumOfScores">
      <outcomes>
        <declar defaultval="0" varname="SCORE" vartype="Integer" />
      </outcomes>
    </outcomes_processing>
    <selection_ordering>
      <selection />
      <order order_type="Random" />
      <!-- <order order_type="Sequential" /> -->
    </selection_ordering>
    <!-- 必修の基本的事項 -->
    <section title="必修の基本的事項" ident="twmu-A01-S01">
      <qticomment>必修の基本的事項</qticomment>
      <outcomes_processing scoremodel="NumberCorrect">
        <outcomes>
          <declar defaultval="0" varname="COUNT" vartype="Integer" />
        </outcomes>
      </outcomes_processing>
    </section>
  </assessment>
</questestinterop>

```

(a) ASI ファイル記述例



(b) Java モジュール

図 5.6 ASI ファイル記述と Java モジュールの対応

ID	項目																																																	
	200323	200327	7-1	14-1	200301	3-3	2001pre37	2001pre15	200334	200324	200310	15-6	200304	18-1	200308	200302	18-1	200305	15-4	共10	2001pre5	2001pre1	10-2	2001pre16	2001pre17	200306	8-4	2001pre53	10-4	共11	200331	2001pre7	15-2	15-5	200312	14-5	200329	200326	10-5	200335	200325	10-3	2001pre1							
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

正答者数 27 27 26 26 25 24 20 20 18 18 18 18 18 17 16 14 14 14 13 13 13 13 11 11 11 9 8 8 8 7 6 6 6 6 5 5 5 4 4 4 4 3 3 3

a) SP 表

古典的テスト理論(グループ-ASI・ITEM詳細) - Microsoft Internet Explorer

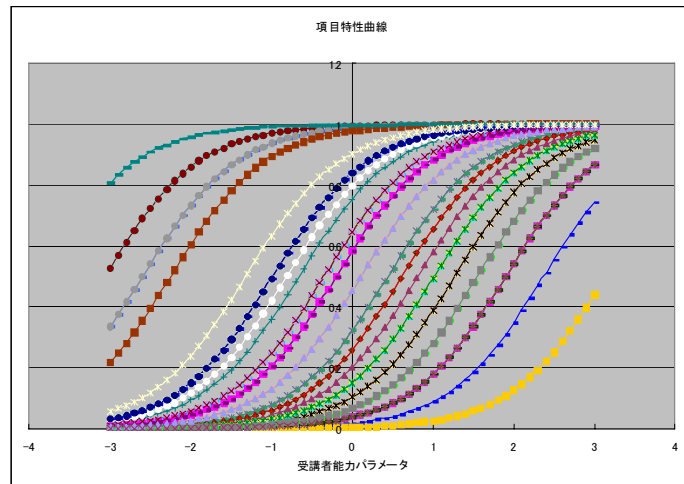
アドレス http://testing/qli/ReportSelectionForm.do

ASID	twmu-A01				
ASI名	東京女子医科大実証実験テストコンテンツ(1)				
グループID	GR0001				
グループ名	3年				

Item Title	正答者数	受験者数	項目困難度	項目弁別力	信賴性係数
39-1	0	12	0.0	NaN	-1.0
200337	4	12	0.33	1.0	0.02
14-2	11	12	0.91	1.0	0.02
200308	3	12	0.25	1.0	0.02
200325	2	12	0.16	1.0	0.02
200324	8	12	0.66	1.0	0.02
18-1	5	12	0.41	0.99	0.02
200302	4	12	0.33	1.0	0.02
7-1	10	12	0.83	1.0	0.02
200310	8	12	0.66	1.0	0.02
200312	0	12	0.0	NaN	-1.0
200326	1	12	0.08	1.0	0.02
10-3	1	12	0.08	1.0	0.02
10-2	4	11	0.36	1.02	0.02
200301	10	12	0.83	1.0	0.02
200305	4	12	0.33	1.0	0.02
15-6	7	12	0.58	0.99	0.02
200323	12	12	1.0	NaN	0.02
200304	5	12	0.41	0.99	0.02
10-5	1	12	0.08	1.0	0.02
10-4	4	12	0.33	1.0	0.02

b) 古典テスト理論の項目困難度・項目弁別力パラメータ

図 5.7 評価結果の表示例



c) 項目応答曲線

図 5.7 評価結果の表示例（続き）

5.7 実証実験

開発したシステムの有効性を評価するための実証実験を行った。評価は以下のような観点で実施した。

- 応答性能. 5.5.2 で述べたように、本システムでは柔軟なテスト実行形式を実現可能とするために、応答性能が悪化する可能性がある。そこで、応答時間計測および受験者アンケートにより評価する。
- QTI 規格で規定されている機能. 規格で規定されている、出題選択機能、各種出題解答形式の効果・必要性について、受験者へのアンケートおよび試験実施者へのヒアリングにより評価する。
- QTI 規格以外のシステムの機能. 規格規定外のシステムの機能、使い勝手について、受験者へのアンケートおよび試験実施者へのヒアリングにより評価する。

5.7.1 実証実験内容

実施した試験は医学部の国家試験対策模擬試験で、受験者は医学部の 3, 4, 5 年生全 28 名である。各分野専門の医師が作成した問題 50 問を 2 セット用意し、1 セットを 1 section とし制限時間 1 時間で試験を実施した。問題は QTI 規格に準拠した市販のオーサリングツール（Question Mark Computing Ltd. 2003）を用いて作成した。問題は多肢択一ないし多肢択二で、文章を用いた問題が大半であるが、一部、静止画や動画で症例を示すような形式も作成した。動画を用いた設問の例を図 5.8 に示す。各 section で出題順はランダムを指定し、それぞれの受験者に異なる順番で問題が提示されるようにした。なお、実験は 100Mbps の LAN 環境で実施した。

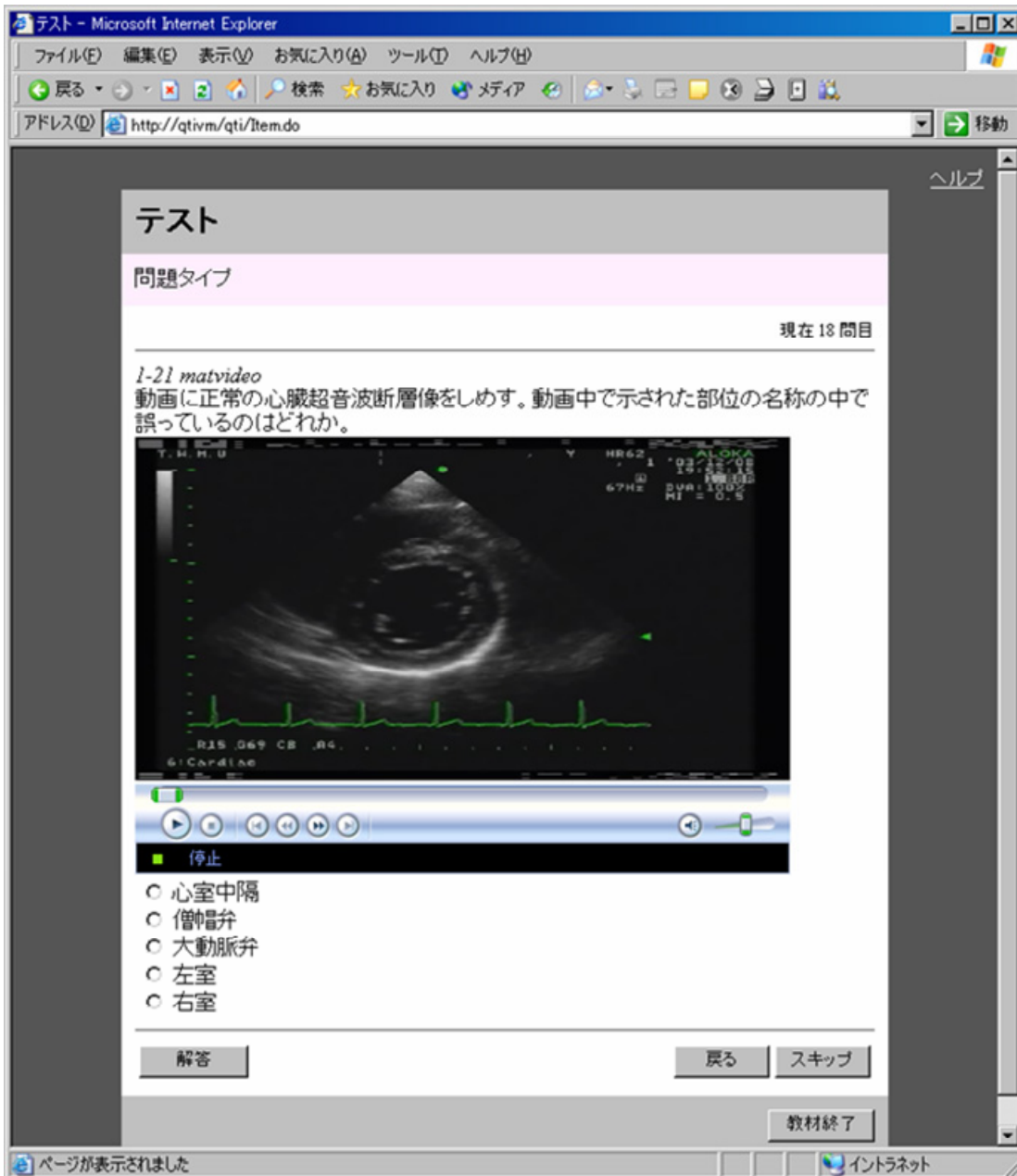


図 5.8 動画を用いた設問の例

5.7.2 性能の評価

画面間遷移時間（学習者が解答を入力してから次の問題画面が表示されるまで）を測定したところ平均 6.6 秒，標準偏差 4.9 秒となった。平均は Web アプリケーションの画面遷移の一般的な指標である 8 秒（Zona Research, Inc. 1999）よりは早い，ばらつきもかなり大きい。表 5.2 に受験者に対するアンケート結果を示す。この結果では「やや遅い」，「遅い」という意見が多かった。試験という環境では，学習者は通常の Web 利用時よりもストレスの高い状態にあると考えられ，より高い応答性が求められるものと思われる。

今回、各 Section で受験者ごとの出題順はランダムとしたが、実際には出題順序は Section を開始する際に決定できる。従って、受験者が解答を考えている間に、平行して次に出題する問題の表示データ生成を行う、といった工夫をすれば、応答性能の改善が可能と考えられる。

表 5.2 性能に関するアンケート結果

評価	早い	やや早い	普通	やや遅い	遅い
人数	0	1	7	12	8

5.7.3 QTI 規格の機能の評価

QTI 規格で規定されている機能のうち、今回の模擬試験で利用したランダム出題機能、動画による出題機能について受験者にアンケートを行った結果を表 5.3 に示す。いずれも、ほとんどの受験者が「効果有り」、「やや効果有り」と答えている。

表 5.3 QTI 機能に関するアンケート結果

ランダム出題によるカンニングや丸暗記の防止

評価	効果有り	やや効果有り	普通	余り効果無し	効果無し
人数	12	10	2	3	1

動画などのマルチメディアを用いた出題

評価	効果有り	やや効果有り	普通	余り効果無し	効果無し
人数	13	11	2	1	1

今回の試験作成・実施に携わった 4 名の試験実施者からも、

- 画像表示は試験に十分適用できるレベルである。
- 動画問題は非常によかった。
- 今回は超音波画像のみだったが、今後は内視鏡映像や、医療機器映像のみでなく患者の様子を撮影し模擬診断のような形でも活用してみたい。

といった肯定的なコメントが得られた。また試験実施者に、QTI 規格で規定されている各種の設問形式についての意見を聞いた。「必要～不要」の 5 段階で回答してもらったところ、今回実際に使用した「多肢択一」、「多肢複数選択」形式について半数以上の試験実施者が

「普通」以上、今回使用しなかった「真偽」、「数値入力」、「テキスト入力」、「並べ替え」、「対応付け」の各形式についても半数以上が「必要」ないし「まあ必要」と回答した。このように、本システムで実現した QTI 規格の機能に関して概ね肯定的な意見が得られた。

5.7.4 QTI 規格以外の機能

受験者に対するシステムの全体的な操作性に関するアンケート結果を表 5.4 に示す。「良い」、「やや良い」とする答えが半数以上であった。その他、自由記述による回答で目立ったものとして以下のようなものが挙げられる。

- マークシートと比べて解答の変更がしやすい。
- 画像が自由に拡大できると良い。
- 紙のようにテスト全体が一覧できると良い。
- 自分の解答の一覧が見たい。
- スキップした問題の一覧が見たい。
- あとで考え直したい問題にマークが付けられると良い。
- 書き込み・メモができると良い。特に症例問題。

解答操作については紙よりも楽である、という意見が見られた。テスト全体や解答の一覧性については改善を求める声が多く見られた。また、書き込みやメモができると良いという意見も目立った。これらは永岡（2000）の知見とも一致している。一方、試験実施者からは、

- 学生からは、メモ機能がほしいとか、紙ベーステストの方がよいという意見が多いが、デメリットとは思っていない。（医療の）現場では紙をみて判断しない。

といったコメントもあり、試験の対象・目的によって機能の切り替えが必要であることが示唆された。

表 5.4 操作性に関するアンケート結果

評価	良い	やや良い	普通	やや悪い	悪い
人数	8	13	6	1	0

5.8 結言

QTI 規格に準拠し機能拡張を可能としたオンラインテストシステムの開発とこれを利用した実証実験について述べた。QTI 規格は多岐な機能を含む大規模な規格であり拡張性も要求されるため、テスト各 4 つの処理要素（出題選択、表示、応答、集約）に対して、処理内容に応じた教材オブジェクトを作成することで、機能拡張が容易に行える構成とした。医師国家試験の模擬試験に適用し操作性、応答性の評価を行った。機能面では、ランダム出題機能、画像を用いた出題機能など、本システムで実現した QTI 規格の

機能の有効性が確認された。一方、課題として以下のような点が明らかとなった。

- 性能面では、受験者のストレスを無くすために応答速度の改善が必要である。今回開発したシステムでは、5.5.2で述べたように、性能よりも、各種のテスト実行形式に対応可能とする柔軟性、教材オブジェクトによる機能拡張性を優先させた。性能と柔軟性・機能拡張性を両立させるシステム構成の検討は今後の課題である。
- 機能面では、問題・解答の一覧性や書き込み機能など操作性の改善が必要である。これらの機能は QTI 規格では規定されていないが、試験実施者にとってはこれらの機能も含めて試験環境として指定したい事項だと思われる。一覧性に関しては、個々の設問の表示処理だけでなく設問群の表示処理に関する規定を定める必要がある。また、書き込み機能に関しては、応答処理に関する規定および RR 規格の拡張を行う必要がある。

また、標準化の本来の意義のひとつであるテストコンテンツの流通・再利用に関しては今回評価を行うことができなかった。しかし、5.7.1で述べたように、コンテンツ作成は市販の QTI 規格対応オーサリングツールを用いて行っており、大きな支障なく実験を実施することができた。標準規格を用いることの利点のひとつは、独立に開発されたツール相互の連携にあり、この利点は今回確認することができた。

本システムでは、各種のテスト手法をモジュールとして実装して提供することが可能であり、上記のように、独立に開発された高機能なオーサリングツールや結果評価システムとも QTI 規格を通して連携が可能となる。今後、これらのモジュール、システムを整備し、使いやすいテスト環境を構築することが期待される。

第6章 拡張性を有する学習支援システム アーキテクチャの意義と今後の役割

6.1 諸言

ここまで述べたような e ラーニングシステムアーキテクチャの検討は、e ラーニングシステムを構成する技術の標準化と密接に関係する。標準化は、システムを複数の構成要素に分離し、分離された要素間の“インターフェース”を規定することによって、利用者の利便性向上やベンダ間の競争による製品のコストパフォーマンス向上などの促進を図るものである(山田 1999)。このような“インターフェース”を規定する際に、従来から一般的に採られる典型的な考え方のひとつが、第2章に示したモジュール型アーキテクチャである。モジュール型アーキテクチャにおけるコンテンツとプラットフォームの分離という考え方は、ビデオテープとビデオデッキ、コンピュータソフトウェアとコンピュータハードウェアなど、様々な分野で幅広く見られる考え方であり、代表的な WBT 標準規格である SCORM 規格でも採用されている (Fallon & Brown 2003)。

ところで、教育効果を追い求めるのであれば、一方では、システムアーキテクチャや標準化などの制約を一切設けないことが望ましいといえる。しかし、一定のコストの制約の下で、ある水準を満たす教育コンテンツやサービスを継続的に提供するためには、e ラーニングシステムや運営に関してなんらかの「標準」を導入していく必要があると考えられる。

そこで、本章では、このような標準化が e ラーニングについては教育という分野においてどのような役割を持つのかについて考察する。さらに、本研究において、従来のモジュール型アーキテクチャの課題を解決する目的で提案した、教材オブジェクトに基づく学習支援システムアーキテクチャが e ラーニング技術標準化という観点からどのような意義と役割を持つのかについて考察する。

まず、e ラーニング標準規格について SCORM を中心として、普及段階にあるもの、新たな開発段階にあるものの動向を概観する。次に、技術標準化が産業の活性化に及ぼす影響について考察する。技術標準化というと、研究開発が終わって十分に枯れた技術を対象とするもので、標準化自体は技術の進歩を阻害する、というナイーブな意見がいまだに多く聞かれるが、インターネットの社会への浸透に見られるように、IT があらゆる社会活動の基盤となっている今日では、技術標準化ないしはその背後にあるモジュール化という考え方が、技術の新しい価値を生み出し、産業を活性化するために非常に重要な役割を担っているということが明らかになりつつある (Baldwin & Clark 2000, 池田 2005)。さらにこのような考察に基づいて、e ラーニング分野において技術標準化がどのような付加価値を持ちうるのか、そのような中において本研究で提案した教材オブジェクトに基づく学習支援システムアーキテクチャがどのような意義と役割を持ちうるのかについて考察する。

6.2 e ラーニング技術標準化の全体動向

e ラーニングの広範な普及に伴い、そのスムーズな導入、運用のために e ラーニング技術標準化が不可欠であるという認識が広まってきている (Fallon & Brown 2003, 仲林 2002a, 仲林 2002b). アメリカの e ラーニング技術標準化組織 ADL の Web サイト²には、WBT(Web-based Training) システムの標準規格 SCORM(Shareable Content Object Reference Model) (Advanced Distributed Learning Initiative 2004) に準拠していると認定された製品が LMS(Learning Management System)だけで 62 も掲載されている (2005 年 8 月現在).

コンピュータを用いた教育支援の研究に比べて、e ラーニング技術標準化の歴史はそれほど古いものではない (仲林 2002b). しかし、ここ数年の間にいくつかの標準規格が実用化段階に入るとともに、次世代規格の開発・普及へ向けての新しい動きが国際的に起きつつある.

e ラーニングにおける学習サイクルでは、「コンピテンシマップ」、「コンテンツ」、「学習者プロフィール」の三つの基本的な情報が重要な役割を果たす (仲林 2002b). コンピテンシマップは学習の目標となる知識やスキルレベルの体系的な記述、学習者プロフィールは学習者個人の知識やスキル、学習履歴、資格などの記述、コンテンツは実際のカリキュラムや教材、講義である. これらの情報はいずれも作成するのに手間や費用がかかり、e ラーニング環境では、長期間に渡って組織を越えてこれらの情報を蓄積、流通、再利用したい、という要求が顕在化する. そのため、初期の e ラーニング技術標準化ではこれらの基本的な情報の表現形式やフォーマットに関する規格の標準化が活動の中心となっていた (仲林 2002b).

これに対して近年の活動は、より高度あるいは広範囲な規格開発を目指す方向と、規格の普及利用を促進する方向に進展してきている (Nakabayashi 2004). 高度な規格開発を目指す方向の例としては、e ラーニングシステムの動作を扱おうという方向があり、WBT コンテンツに関する SCORM 2004 や LOM に基づく分散リポジトリはこの方向のものである. 一方、範囲を拡大する方向としては、学習活動全般の記述の枠組みを目指す Learning Design(LD)規格 (IMS Global Learning Consortium 2003a)、教育サービス品質の記述に関する Quality Management, Assurance, and Metrics(QA) 規格 (International Organization for Standardization and the International Electrotechnical Commission 2005, 平田 2005)、コンテンツの著作権記述に関する Digital Rights Expression Language(DREL)³などが挙げられる. SCORM 2004 に関しては 6.3 で詳しく議論し、ここでは分散リポジトリ、LD 規格、QA 規格、および、規格普及促進の活動について簡単に述べる.

² <http://www.adlnet.org/>

³ <http://ieeeltsc.org/wg4DREL/>

6.2.1 分散リポジトリ

分散リポジトリは、インターネット上に分散する学習コンテンツをして管理するための技術である。著作権等権利関係の問題やコンテンツ保守の問題から、学習コンテンツは権利者の手の届くコンテンツサーバ（リポジトリ）で蓄積管理される場合が多い。こうしたリポジトリが多数存在する場合、ユーザの立場からは複数のリポジトリの内容を一度に検索し比較できると大変便利である。このような機能を実現するための最も簡単な方法は、コンテンツを内容や権利情報などを記述したメタデータ（LOM: Learning Object Metadata）を1箇所に集積して検索するという **Agregation** モデルである。国内ではメディア教育開発センタがこのようなモデルに基づくコンテンツ検索サービスを提供している。

しかし、学習コンテンツがさまざまな地域や領域で開発蓄積されるようになると、メタデータを集積するレファラトリ（参照庫）自身も増加し、レファラトリ間でメタデータを参照しあう仕組みが必要となる。これを実現する方式として、大きく **Harvesting** モデルと **Federated Search** モデルがある。前者は、あらかじめメタデータ共有の意思表示をしたリポジトリやレファラトリを巡回してメタデータを収集するもので、**OAIPMH**⁴などが知られている。後者は、メタデータを1箇所に集積せず、複数のリポジトリやレファラトリの検索エンジンに同時に **Query**（質問）を投げて横断的な検索を行い、その検索結果を統合して表示するものである。こうしたレファラトリの連携にも国際標準の必要が指摘され、**ADL**を中心に **CORDRA**(Content Object Repository Discovery and Registration/Resolution Architecture)⁵という規格の検討が始まっている（Rehak et al. 2005）。

6.2.2 LD 規格

LD 規格は、Open University of Netherlands での各種の教授法の分析に基づいて開発された Educational Modeling Language (EML)（Koper 2001）をベースとして、IMS で開発された。LD 規格では、先生、生徒などの「役割 (Role)」を演じる「人々 (Person)」が学習資源などの「環境 (Environment)」を活用する「学習活動 (Activity)」の集合として、教授学習過程を表現する。このようなアプローチは、CSCL の学習過程をフォーマルに記述しようという試み（Miao et al. 2005）と共通するものであり、各種の教授法や教育手法の記述を共通化して共有、再利用する枠組みを提供することを目的としている。

6.2.3 QA 規格

QA 規格は、教育サービスの品質管理、品質保証に関する既存の様々な規格や手法を統一的に記述、分析、比較する枠組みを提供し、最終的にはこれらの既存手法間に共通する語彙や基準、アプローチを見出していこうというもので、ISO/IEC JTC1 SC36 で活動が進められている。この枠組みは **Reference Framework for the Description of Quality Approaches (RFDQ)**と呼ばれ、現在、教育サービスの提供プロセスを、「ニーズ分析」から

⁴ <http://www.openarchives.org/>

⁵ <http://www.cordra.org/>

「設計」、「開発」を経て「評価」に至る7つの過程で記述するモデルの規定と、このモデルによる既存のいくつかの品質保証アプローチの記述を含む基本的な文書が国際標準規格化の最終段階にある。今後はこの文書をベースに、「品質モデル」、「品質基準尺度」、「実践ガイド」などの検討が進められていく予定である。

6.2.4 規格普及促進活動

規格の普及利用を促進する方向としては、規格を実装した製品の相互運用性を向上させるための、製品認定活動や相互運用性実証実験の実施がある。SCORM に関しては ADL が以前からこれらの活動を大々的に行っており、6.2 に挙げた製品数はこの活動の成果である。国内でも日本イーラーニングコンソシアム (eLC) が同様の活動を行っている⁶。また、規格を実装したプロダクトをフリーソフトやオープンソースとして配布しよう、という動きも顕在化している。イギリスの Reload プロジェクト⁷では、SCORM 1.2 規格、LD 規格のオーサリングツール、実行ツールを配布している。SCORM 1.2 は ATutor⁸、Moodle⁹などのオープンソース LMS でも実装されている。eLC は SCORM 2004 実行エンジンを開発して配布している (仲林 他 2005)。

6.3 SCORM

6.3.1 概要

SCORM は WBT コンテンツの標準規格である。SCORM では、図 6.1 に示すように、階層型のコンテンツ構造、コンテンツの属性を記述するメタデータ、LMS (プラットフォーム) とクライアント側コンテンツ (SCO: Sharable Content Object) の通信規定を定めている (仲林 2002b)。現在、もっとも広く普及しているのは 2001 年に作成された SCORM 1.2 で、多くの LMS や教材作成ツールで採用されている。これによって、異なるベンダの作成したコンテンツと LMS の自由な組み合わせや、ツール独自の進化を可能とする、という標準化本来の目的はほぼ達成されている。

一方、CAI (Computer Assisted Instruction) や ITS (Intelligent Tutoring System) の分野では、従来から学習者の理解状況にコンテンツの動的なふるまいを適応させる学習者適応の研究が行われ (溝口 1995)、このような機能を有する WBT システムも実現されている。しかし、SCORM では規格の早期開発と普及を第一に考え、学習者適応機能の導入は積極的には行われてこなかった。このため、標準規格の範囲内で満足な学習者適応機能を有する WBT コンテンツを作成することは不可能であり、高機能なコンテンツが広く流通する妨げとなっていた。

⁶ <http://www.elc.or.jp/>

⁷ <http://www.reload.ac.uk/>

⁸ <http://www.atutor.ca/>

⁹ <http://moodle.org/>

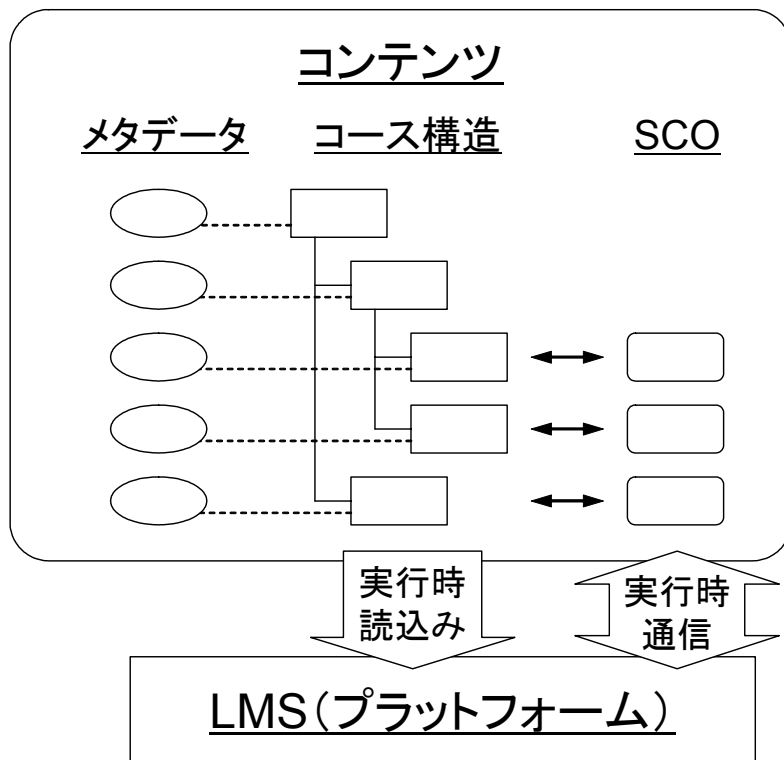


図 6.1 SCORM 規格の構成要素

このような問題点を解決するため ADL では SCORM 2004 (Advanced Distributed Learning Initiative 2004) を策定した。SCORM 2004 規格では、学習者の理解状況に応じて提示するページを動的に決定するシーケンシング機能を有しているほか、いくつかの拡充が行われている。以下の節で、SCORM 2004 のシーケンシング規格、および、今後の技術課題について述べる。

6.3.2 SCORM 2004 のシーケンシング規格

SCORM 2004 のシーケンシング規格では、コンテンツ作成者は、コース構造とそれに付随するシーケンシングルールを記述することによってコンテンツの動作を制御することができる。図 6.2 に概要を示す。コース構造とシーケンシングルールは LMS 内のシーケンシングエンジンに読み込まれる。シーケンシングエンジンは、学習者からの要求を受け取り、シーケンシングルールを解釈し、学習者の学習状態を反映するための状態情報（トラッキング情報と呼ぶ）を更新し、次の提示画面を決定するという動作を繰り返す。

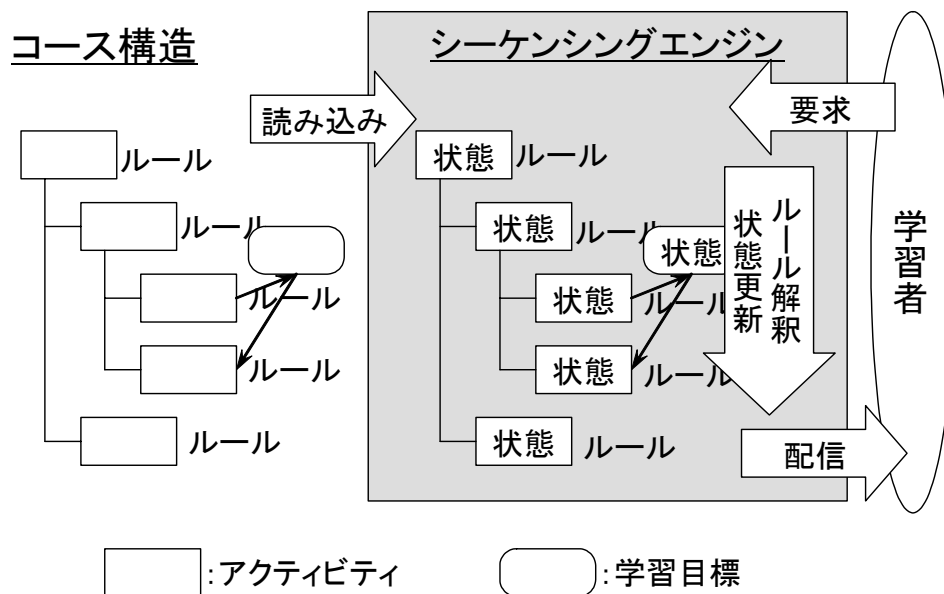


図 6.2 SCORM 2004 シーケンシング処理の概要

シーケンシング機能は以下の4つの要素によって規定される。

(1) コース構造と学習目標

階層型の教材構造、および、階層の各ノード（アクティビティ）に関連付けられた「学習目標」から構成される。また、複数ノードから参照される「共有学習目標」を定義できる。

(2) トラッキング情報

学習者の進捗状態を表す。トラッキング情報は、各アクティビティおよび学習目標に付随し、学習者に提示されるテスト問題の結果などから、教材階層のルートに向かって、シーケンシングエンジンによって更新される。この動作をロールアップと呼ぶ。

(3) シーケンシング要求

学習者から入力される「次画面」、「前画面」、「中断」などのコマンドである。

(4) シーケンシングルール

シーケンシング動作の記述である。シーケンシングルールは三つのカテゴリに分けることができる。

- シーケンシング要求によるアクティビティ間遷移になんらかの制約を課すもの。「アクティビティは順方向のみに提示し後戻りを禁止する」といった固定的な制限と、「学習目標が修得済みならばアクティビティをスキップ」というようなトラッキング情報がある条件を満たすときに成立する制限がある。
- 条件に基づくシーケンシング動作を行うもの。例えば、トラッキング情報が一定条件になったらアクティビティを再実行する、といった記述を行う。

- ロールアップに関するもの。教材階層の子アクティビティがどのような状態になったら親アクティビティを習得したとみなすか、といった条件を記述する。

以上のようなルールを組み合わせると、プリテストによる分岐、ポストテストによる復習を基本パターンに、きめ細かな学習制御を組み込んだ教材を作成することができる (Carnegie Mellon University Learning Systems Architecture Lab 2003)。

シーケンシングの具体例を図 6.3 に示す。この例は「解説」、「復習」、「テスト」のアクティビティからなる教材で、以下のような動作を意図している。

- 最初に「解説」を提示し「テスト」に合格したら終了。
- 不合格なら「復習」を提示し、再度「テスト」を実行。これを合格するまで繰り返す。
- 繰り返しの最大回数は 3 回。これを越えたら不合格でも強制終了。

上記の動作を実現するため、図 6.3 では共有学習目標を用い、これを参照するシーケンシングルールを各アクティビティに記述して、共有学習目標の状態に応じて提示するアクティビティを制御している。また、「テスト」アクティビティだけをロールアップに関与させ、「テスト」に合格（習得）すればコース全体が習得となるようにしている。

実行を開始するとシーケンシングエンジンは「解説」を提示しようとする。学習目標の初期値は「未定（未修得とは異なる）」であるので、「解説」のルールは成立せず、Skip せずに「解説」が提示される。次に「復習」を提示しようとするが、学習目標が「未定」であるので、「復習」のルールが成立し、「復習」を Skip して「テスト」が提示される。学習者が「テスト」を実行して不合格となれば、学習目標は「未修得」、ロールアップによって「コース」も未習得となり、「コース」のルールが成立して再試行(Retry)が行われる。今度は学習目標が未修得となっているため、「解説」、「復習」それぞれのルールに従い、「解説」が提示されず、「復習」が提示される。その後「テスト」を実行して、不合格となれば同じ動作を繰り返す。但し、繰り返し回数が 3 回を越えたら「コース」の制限条件により実行を終了する。

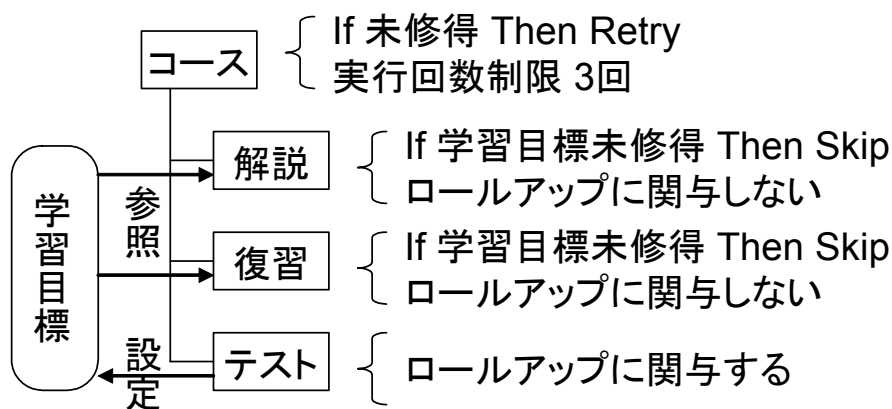


図 6.3 シーケンシングの具体例

6.3.3 SCORM 2004 の技術課題

SCORM 2004 は学習者適応技術分野の技術であり、課題も従来と共通している。特に、教材の作成と動作検証は、困難な課題であることに変わりはない。SCORM 2004 のシーケンシングルール記述は、プログラミング言語で言えばアセンブラ言語に相当する抽象度の低いものであり、インストラクショナルデザインなどを基本概念に、教材設計者の意図とより直接的に対応した抽象度の高いレベルの教材開発手法の研究が必須である。もうひとつの問題は、学習者の行動が教材作成者の意図の範囲外であったときに、教材が予想外の動きをする可能性があるということであり、教材動作の検証手法の研究が重要である。このようにいくつかの課題があるが、一方で、学習者適応技術分野ではこれまでに多くの研究蓄積がなされてきている (Murray et al. 2003)。従来、これらの研究は教材実行環境が異なるために、お互いの成果を十分に活用することができなかった。しかし、SCORM 2004 を学習者適応技術の共通実行基盤と捉え、その上に個々の研究成果を積み上げていくことができれば、これまでの研究成果をより実用的に統合した新しい展開が可能になると考えられる (林・池田 2005)。

6.4 技術標準化の意義

本節では、技術分野における標準化の意義を再確認し、次節でこれに基づき教育分野における技術標準化の役割について考察する。

技術標準化に関して、「研究開発が終わって枯れた技術を対象とするのが技術標準化である」、「技術標準化は画一化を強いて、技術の進歩を阻害する」とする見方が少なくない。確かにひとつの技術が研究開発から実用化段階を経て標準化されるというライフサイクルだけに着目すればこのような見方ももっともかもしれない。しかし、ある技術分野はひとつの技術だけで成り立っているわけではない。また、技術は産業活動のひとつの重要な要素として存在しており、技術だけを取り出して議論すると標準化の本来の意義を見失う恐れがある。本節では、いくつかの観点から技術標準化の意義について述べる。

6.4.1 ユーザの利便性向上

通常、標準規格は、システムを複数の構成要素に分離し、分離された要素間の“インターフェース”を規定する。例えば、ビデオデッキとビデオテープの場合、標準規格によって、テープカセットの形状、ビデオ信号の記録フォーマット、テープ送り速度などが規定される。このような規定を公知のものとすることによって、異なるメーカーの製造したビデオデッキとビデオテープを組み合わせてもビデオの録画・再生の機能が保たれることになる。このような統一的なインターフェースを規定することにより、利用者は、インターフェースを気にしなくても異なるメーカーの製品を自由に選択して組み合わせて利用することが可能となる。新しいデッキに買い替える際にも、利用者は蓄積したコンテンツが見られなくなるという心配が無く、コンテンツを長期間に渡って活用することが可能となる。こ

のような効果を「ソフトのストック価値」と呼ぶ。また、同様の規格を採用している製品を保持している他の利用者とコンテンツを容易にやり取りすることが可能となる。このように同一の規格を採用している利用者が増えることによって、利用者にとって標準規格を採用する効用は高まることになる。これを「ネットワーク外部性」と呼ぶ（山田 1999）。

6.4.2 競争の促進

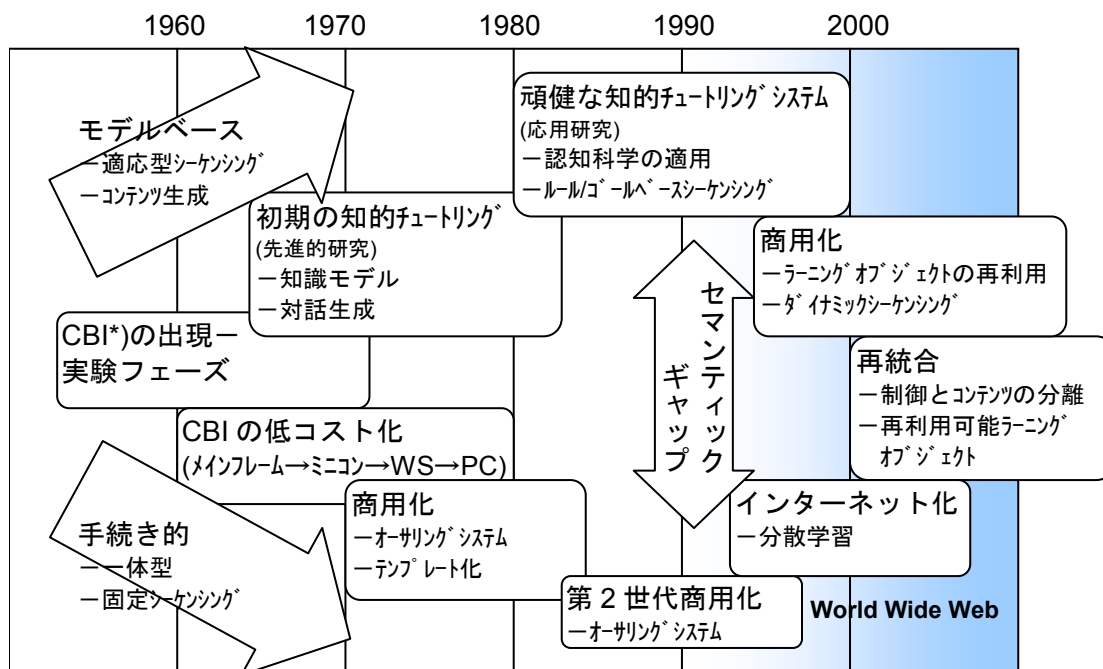
産業上の観点からは、技術標準化はもう一段深い意義を持つ。標準規格によって、システム全体の機能を保ったまま、分離された構成要素が他の構成要素に関係なく進化することが可能となる。すなわち、異なる人間が、他の構成要素の内部を熟知していなくても、自分の受け持つ構成要素を開発することが可能になり、各構成要素の急速な進化、ひいてはシステム全体の価値の向上が可能となる。

IT 分野でこのようにシステムを複数の構成要素に分離し、要素間のインターフェースを標準化するというモジュール化アーキテクチャの考え方を最初に本格的に取り入れたのは IBM/System360 である。モジュール化の工夫により、IBM/System360 のシステム全体の経済的な価値は 25 倍も向上したと言われる（Baldwin & Clark 2000）。

このようなモジュール化による急速な経済価値の向上が顕著に現れたのがインターネットの分野である。この分野では、その根底にあるオープンスタンダードの考え方によって、ある構成要素の供給に特化したベンダが容易に参入できる状況が作り出され、競争による急速な発展が起きている。

6.4.3 標準化と研究の相互促進

図 6.4 は SCORM のドキュメント (Advanced Distributed Learning Initiative 2004) に掲載されている e ラーニングの技術進化を示す図である。この図で、上半分の流れはコンピュータによる教育支援技術の研究の流れ、下半分は商用システムの流れであり、インターネットの出現によってこれらが統合されたものが現在の e ラーニングであることを表現している。すなわち、コンピュータが教育研修に適用できるであろうという初期段階のアイデアが、研究開発の流れと商用化の流れに分離した。上半分の研究開発の流れでは、知的学習支援の実現を目的とした学習過程のモデル化、それによる学習制御ロジックとコンテンツの分離、などの概念が生まれた。一方、下半分の流れではコンテンツ開発の低コスト化を狙いとしたオーサリングシステムが普及した。この二つの流れは、一時はまったく別の方向を向いたものと思われていたが、インターネットの出現によって、コンテンツ流通、再利用の重要性がクローズアップされて、再び統合されて行く、というのがこの図の主旨である。これは e ラーニング技術の進化のあるひとつの見方であるが、コンピュータによる学習支援の実現を目的に地道に続けられてきた研究がインターネットと結びつくことによって新たな方向性を得て活性化する、という見方は興味深い。重要なポイントは、標準規格が研究活動によって生み出された「モデル」に依存している点である。



*) CBI: Computer-Based Instruction

図 6.4 e ラーニングとインターネット技術

インターネットの技術革新において見られる事象からは、逆の方向の相互作用も示唆される。すなわち、標準規格が新たな研究活動の技術基盤となるという相互作用である。このような相互作用の近年の顕著な例はセマンティック Web の分野に見られる（人工知能学会 2005）。セマンティック Web の基盤は WWW 分野の多くの標準規格、特に RDF と OWL に依存しており、このような標準規格が存在していることが、システムの実装や実証実験などの研究活動を加速している。

6.4.4 産業構造の変化

標準化による技術の進化は産業構造の変化にも密接に関係する。図 6.5 に「イノベータのジレンマ」として知られる事象を示す（Christensen 1997）。

この事象は、高品質な製品を提供する流れ（持続的イノベーション）が顧客の要求を十分に（過剰に）満たす状況にあるときに、品質はあまりよくないが低価格な製品を提供する流れ（破壊的イノベーション）によって駆逐される状況を示している。破壊的イノベーションは、そのビジネスセグメントの技術や製品の継続的なイノベーションの中から生み出されるのではなく、まったく別のセグメントからもたらされる非連続的なイノベーションである場合が多い。

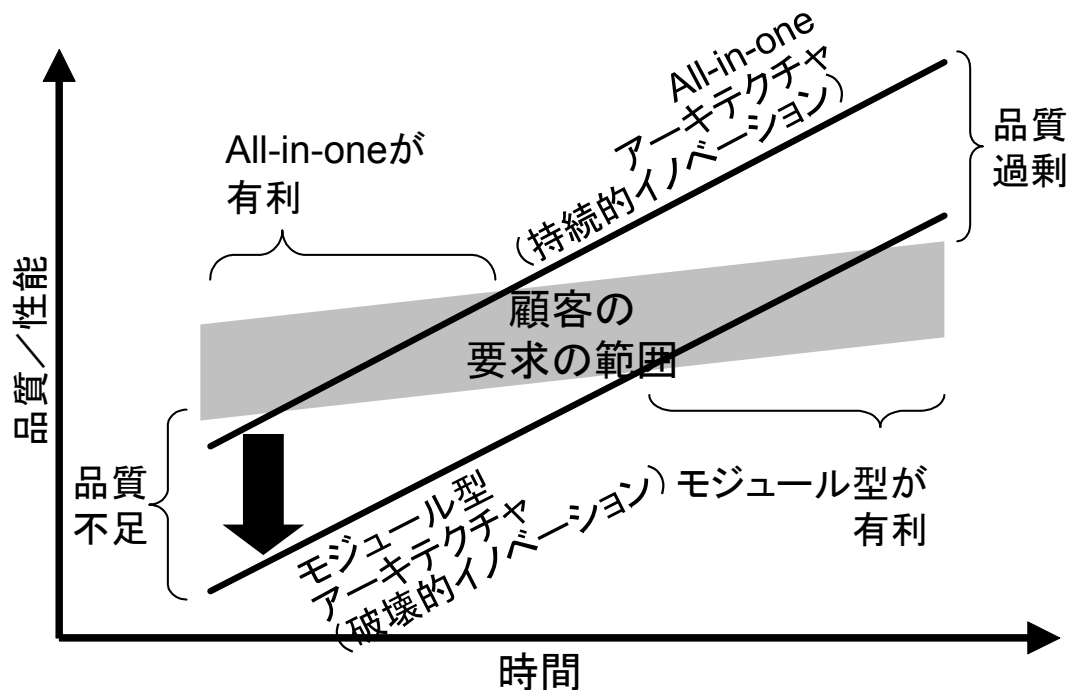


図 6.5 イノベータのジレンマ

回線交換技術を用いた従来の電話（持続的イノベーション）とインターネット技術を用いた IP 電話（破壊的イノベーション）を例に両者の関係を説明する。既存の電話は交換技術や伝送技術の改良や最適化、そして交換装置や伝送路など多くの設備投資を積み重ねてきた。これにより、非常に明瞭な音声品質が提供され、国内通話だけでなく国際通話でもダイヤル即時通話が実現されるなど、利用者が必要とするサービス品質はほとんど満足され、むしろ過剰品質の状況にあると考えられる。

一方、IP 電話は電話のようなリアルタイムの音声通話ではなく、もともとコンピュータ間の情報通信を想定したインターネット技術に基盤をおいている。すなわち、IP 電話は既存の電話とは別のビジネスセグメントから、電話というビジネスセグメントにもたらされたイノベーションである。インターネット技術は、既存の電話技術が音声通話に最適化した最高品質の通信ネットワークの構築を目指していたのと異なり、通信ネットワークの品質があまり良くなくパケットロスが多発するような状況でも、とりあえずコンピュータ間の情報通信が確保されるようなベストエフォートの考え方に基づいている。このため、インターネット技術を用いたネットワークは電話技術を用いたネットワークに比べて、はるかに構築が容易で運用コストも安価であった。

ところで、インターネットを電話のようなリアルタイム通信にも適用しようというアイデアはインターネットの初期のころから存在していた。しかし初期のインターネット技術では、伝送遅延やパケットロスにより音声通話の品質は既存の電話技術に比べてはるかに

低く、利用者が必要とするサービス品質を到底満たすものではなかった。このように、IP 電話というアイデアは、当初全く机上の空論であった。しかし、インターネットの低価格で簡便という特性は、コンピュータ通信の分野では幅広く受け入れられ、それに伴いビジネス規模の拡大と技術革新の加速をもたらしていく。このようなビジネス規模の拡大と技術革新の加速は、インターネット通信技術の指数的な性能向上と低コスト化を引き起こす。そして、その結果得られた通信技術は、本来音声通話のために設計されたものでは無いにもかかわらず、徐々に一部の利用者が満足する品質の範囲に入るようになる。このようにして、利用者が獲得できるようになると、さらに技術や設備に対する投資が行われるようになり品質が向上することになる。これによって、また新たな利用者の獲得と投資が繰り返され、ついには、ほとんどの利用者が必要とするサービス品質を十分満たすようになって来たのである。

すなわち、「イノベータのジレンマ」とは、既存の「持続的イノベーション」によって高価で品質過剰のサービスが提供されているビジネスセグメントに、そのビジネスセグメントをもととは想定していない低価格で品質の低い「破壊的イノベーション」が投入され、技術革新を繰り返すうちに、そのビジネスセグメントで利用者が必要とするサービス品質を満たすようになり、「持続的イノベーション」の地位を脅かすようになる、という事象を指す。

なぜこの事象が「イノベータのジレンマ」と呼ばれるかという点、持続的イノベーションを提供する既存事業者が破壊的イノベーションを自らの事業に取り入れることが本質的に困難か不可能であるからである。既存事業者は、持続的イノベーションを前提とした事業モデルを組み立てている。そして、持続的イノベーションを改良し、常に自らの顧客により高品質で付加価値の高いサービスを提供し続けようとしている。これは、企業の収支構造、技術開発や設備投資、従業員の採用、配置、育成、など企業活動のすべての局面に影響を与えている。一方、破壊的イノベーションはもともと既存事業者の本来のビジネスセグメントとは異なるビジネスセグメントからもたらされるものである。このため、既存事業者が破壊的イノベーションを導入しようとする点、企業の収支構造が適合しない、これまでの技術開発や設備投資が無駄になる、従業員のスキル転換ができない、などの事業モデルの不適合を起こす。すなわち、自らのビジネスセグメントを脅かす破壊的イノベーションの存在がわかっているにもかかわらず、既存事業者はこれをうまく取り込むことができないのである¹⁰。このような事象は、上の例に挙げた電話の例のみならず、多くのビジネス分野に見られることがわかっている (Christensen 1997)。

このようなイノベータのジレンマの事象において、標準化技術はしばしば重要な役割を果たす (Christensen & Raynor 2003)。これは主にふたつの理由による。

ひとつの理由は、標準化に準拠した製品市場では破壊的な低価格化と急速な品質向上が

¹⁰ 現在、NTT など既存電話事業者は IP 電話サービスも提供している。しかし、料金体系と収支構造の不適合、既存電話設備の扱い、など課題は多い。

起きやすい、ということである。システム全体が垂直統合された All-in-one 型の製品では、一企業がシステム全体を独占的に提供することになるため、極端な低価格化は起きにくい。一方、システムが複数のモジュールから構成されていて、モジュール間のインターフェースが標準化技術として公開されている場合、個々のモジュールを提供する企業の市場参入が起りやすくなり、競争による価格の低下と品質の向上が起きやすくなる。

もうひとつの理由は、技術の汎用性から来る異分野への適合性である。標準化技術は、「他の技術を可能とする enabler 技術」であり、それ自体は「目的を持たない汎用技術」（池田 2005）である。従来、高価な専用技術が用いられた分野に、低価格で高品質な汎用技術を適用した場合、後者はその分野での破壊的イノベーションとなる可能性を持っている。もともと音声通話専用に設計された電話網が前者とすれば、汎用技術の組み合わせで構成されたインターネットは後者に該当する。

以上をまとめると、標準規格を用いた製品は、出現初期には、システムの分割損などにより性能や品質が劣る場合が多い。しかし、モジュール化による競争の促進など急速な低価格化、高品質化が可能である。そして、その技術の汎用性により当初想定した分野以外への適用も容易に行われ、モジュール化されない All-in-one 型の高価な製品の市場を一気に脅かすことになる。

6.5 教育における標準化の役割

6.5.1 標準化の普及状況

前節で述べたような観点から教育における標準化の役割を考えてみよう。

現状では、e ラーニング技術標準化は、「市場自体がまだ小さい」→「製品の差別化と標準規格化は方向性が反する」→「使いやすい標準化準拠製品が出てこない」→「標準化による市場の拡大が起きない」という負のスパイラルに捉えられているように思われる。また、規格によってモジュール化された構成要素の独立が確立されなくてはならないが、規格が技術的に未成熟だと、モジュール間に相互依存性が生じて構成要素の独立性が保てなくなったり、ベンダによる規格の独自のローカル拡張や規格の不採用という状況を惹起し、標準化の本来の意義は機能しなくなる。

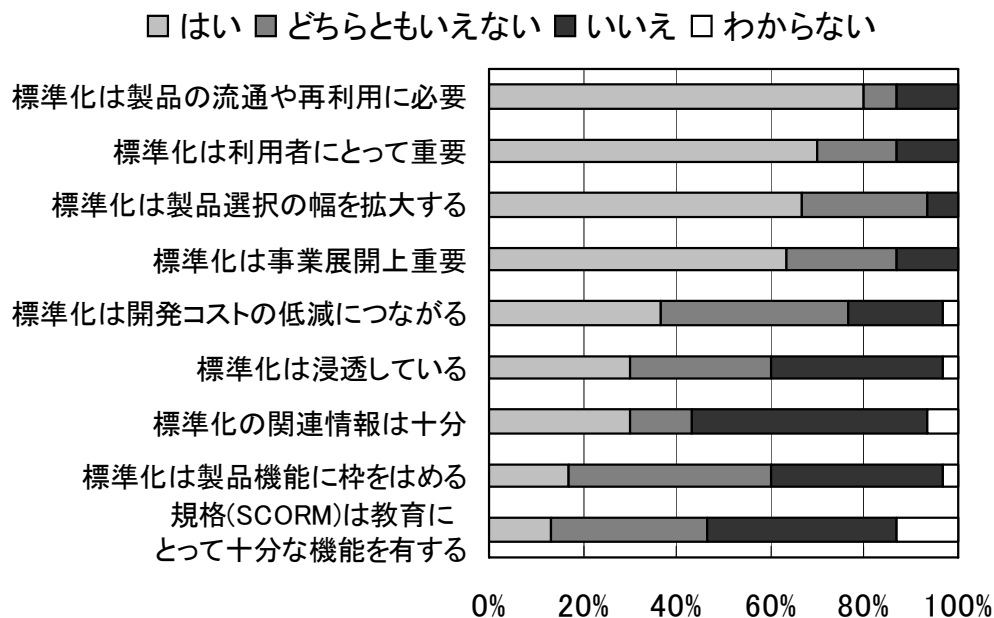
図 6.6 に、日本イーラーニングコンソシアム（eLC）に所属する e ラーニングベンダの事業責任者および開発担当者に、標準化に関する考え方についてアンケートを行った結果を示す（Nakabayashi 2006）。

事業責任者、開発担当者とも回答の傾向は似通っている。すなわち、

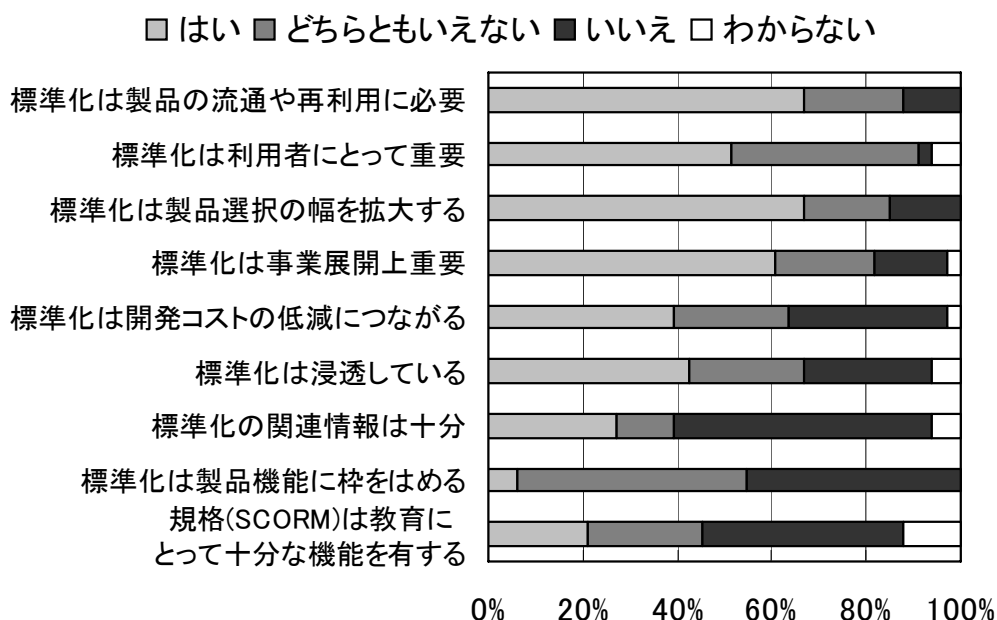
- 標準化は製品の流通や再利用に必要
- 標準化は利用者にとって重要
- 標準化は製品選択の幅を拡大する
- 標準化は事業展開上重要

といった標準化の本来の意義に関する質問に対しては、概ね 7 割前後の回答者から肯定的

な回答が得られている。これから、標準化のもたらすであろう効用や事業に及ぼす重要性については多くのベンダが肯定的に捉えていることがうかがえる。



a) 事業責任者の回答 (96 社中 30 社が回答)



b) 開発担当者の回答 (96 社中 33 社が回答)

図 6.6 標準化に対するベンダの考え方

一方,

- 標準化は開発コストの低減につながる
- 標準化は浸透している

といった標準化の活用・普及状況に関する質問に対しては、肯定的な意見よりも否定的な意見が多い。また,

- 標準化の関連情報は十分である
- 規格(SCORM)は教育にとって十分な機能を有する

といった標準規格自体の技術的な成熟度や活用のための情報入手可能性に関しても肯定的な意見は多いとはいえない。

このように、現状では各ベンダは、標準化の重要性は十分認識しているが、その効用を十分に活用するには至っておらず、原因として、規格自体がまだ未成熟で活用のための情報も不足している、という状況が読み取れる。

これに対して、SCORM 2004 のような新しい高機能な規格やオープンソースによる実装が、規格の普及をどの程度促進するかは今後注目していく必要がある。また、標準規格は本来 IT 技術者までが意識すべきもので、より上流工程に関わるコンテンツデザイナーやインストラクショナルデザイナーなどは、標準規格の意義や概要の理解は必要としても、標準規格の詳細に渡る理解は不要のはずである。このためには、標準規格に準拠した LMS やオーサリングツールなどの製品の拡充とともに、より上位レベルの教育概念設計を標準規格に基づく実装に落とし込むための技術の研究開発が重要となる (林・池田 2005)。

6.5.2 教育環境における破壊的イノベーションと標準化の役割

次に、e ラーニングが従来型の教育環境において破壊的イノベーションを引き起こすような状況が現在生じているといえるであろうか。企業内教育の一部では、従来型の研修では不可能であった、短期間に多数の社員に知識を伝達するような新たな形態の研修が e ラーニングによって実施されるようなケースが出てきている。また、高等教育でも、米国の University Phoenix Online¹¹、国内でも早稲田大学 e スクール¹²のような成功事例が現れつつある (吉田 2003, 吉田 他 2005)。

このような成功事例のひとつとしてイギリスの Open University¹³の事例について考察する。Open University は「技術を活用して高等教育をより多くの国民に提供する」ことを目的に、1971 年に設立された遠隔教育専門の大学である。現在、20 万人の学生を有し、うち 4 万人が英国外から受講している。Open University に関して特筆すべきは、遠隔教育という教育手段を採っているにもかかわらず、Oxford や Cambridge など英国の伝統的な有名校と並ぶ評価を受けているという点である。例えば、2004 年の Sunday Times University Guide によれば、Open University の Teaching Quality は、Cambridge などに次ぎ、Oxford

¹¹ <http://welcome.phoenix.edu/online/default.aspx>

¹² <http://e-school.human.waseda.ac.jp/>

¹³ <http://www.open.ac.uk/>

よりも上の全英 5 位にランキングされている¹⁴。また、2005 年に行われた National Student Survey によると、Open University は学生の満足度で全英 1 位となっている¹⁵。

ここで、イノベータのジレンマに見られるような、「持続的イノベーション 対 破壊的イノベーション」という図式が Open University に当てはまるかどうかを検討してみる。表 6.1 に、「電話（持続的イノベーション）対 IP 電話（破壊的イノベーション）」と「従来型大学 対 Open University」の比較を示す。まず、「電話 対 IP 電話」に関して見てみると、従来の電話が、音声を対象として通話者同士の接続を確実に確保する回線通信技術を採用していたのに対し、IP 電話は、もともとデータ通信を対象としたベストエフォートの IP 通信技術がベースになっている。また、従来の電話の技術が、電話のみに特化した垂直統合型の専用技術であるのに対し、IP 電話の技術は幅広いデータ通信のための汎用技術である。

表 6.1 IP 電話の事象と Open University の事象の比較

分野	上段：持続的 イノベーション	当初の対象	手段（技術）	手段の標準化
	下段：破壊的 イノベーション			
電気 通信	電話	音声	回線通信	専用技術
	IP 電話	データ	IP（ベストエフ ォート）通信	汎用標準技術
高等 教育	従来型の大学	成績優秀者	対面型教育	教員ごとの個別教育 手法
	Open University	既存大学に通 えなかった層、 無試験で入学	技術の活用	コース開発チームに よる標準的教育手法

一方、「従来型大学 対 Open University」について見てみる。Open University は「技術を活用して高等教育をより多くの国民に提供する」という目的で設立されている。つまり、教育手段は「技術を活用」、すなわち、従来の大学とは全く異なる教育手段である。また、対象としていた利用者は従来の大学が対象としていなかった層、ないしは、何らかの理由で従来の大学に通うことのできなかつた学生を対象としていた。すなわち、「高等教育」という分野は従来の大学と同じに思えるが、実は、手段も対象も従来の大学とは全く異なる枠組みからビジネスをスタートしていることがわかる。さらに教育手段についてみると、Open University では、技術を活用した教育を実現するために、10 数名のメンバからなるチームを組織し、標準的な手法でコース開発を行っている。このメンバは、教育分野に関

¹⁴ The Open University News Release, PR4890
http://www3.open.ac.uk/events/1/2004914_42701_nr.doc

¹⁵ The Open University News Release, PR5064
http://www3.open.ac.uk/events/6/2005922_55966_nr.doc

する専門家 (Subject Matter Expert) のみならず、メディアプロデューサー、グラフィックデザイナー、ソフトウェアエンジニア、などから構成される。

このように、IP 電話と Open University では、もともと、異なる分野を対象とした異なる技術 (手段) が、標準化された手段によって既存の対象領域に対する破壊的イノベーションになる、という相似性が見られる。

以上の議論はあくまでも試論であり、Open University の枠組みが破壊的イノベーションとみなしうるかどうか、またその中で標準化がどのような役割を果たしているか、については、さらに詳細な検証が必要である。Open University の事例では、コース開発や運営に関しては標準化された手法が導入されているが、現時点では、e ラーニングのシステムレベルでの標準化がどの程度必要とされて実施されているかは不明である。しかし、従来の対面型教育と比べて、ネットワークという非常に制約された媒体を用いて、学習者にとって価値の高い教育を提供するためには、設計、実践、評価の各段階において高度に定式化された教育手法が確立される必要があり、さらにこのような上流工程の標準化が確立された枠組みでは、システムレベルの標準化による一層の付加価値の向上が可能になると想定される。Open University はこれまで、放送にはじまりビデオ、CD-ROM、DVD など様々なメディアやコンピュータソフトウェアを積極的に遠隔教育に活用してきた。Open University の歴史の中で、e ラーニングもこのような技術の流れの中で捉える必要があり、技術の教育応用という観点から過去にどのような標準化がなされてきたのか、また、このような過去の技術革新における標準化の流れが今後の e ラーニング標準化や e ラーニングアーキテクチャにどのような示唆を与えるのか、を明らかにすることは非常に重要な課題である。

6.6 教材オブジェクトを用いた学習支援システムアーキテクチャの位置付けと役割

前章までの議論をもとに、本研究で提案した教材オブジェクトを用いた学習支援システムアーキテクチャの位置付けと役割に関して考察する。

6.6.1 e ラーニング技術標準化における位置付け

SCORM に代表される現在の e ラーニング標準規格は、第 2 章に示した分類に従えばモジュール型に相当する技術に基づいている。SCORM 規格では、図 6.1 に示したように、WBT システムはコンテンツと LMS (プラットフォーム) に分割され、教材作成者は要求仕様に合わせてコンテンツを作成する。最新の SCORM 2004 規格では、6.3 に述べたように学習者適応機能を実現するためのシーケンシング規格が追加された。シーケンシング動作は規格に従ってコンテンツ内に記述され、プラットフォームは実行時にこの記述を解釈して学習者の理解度に応じた教材の提示を行なう。しかし、規格で実現可能な範囲を超える要求仕様に対応するために、プラットフォームに新たな機能を追加拡張するというメカ

ニーズは SCORM 2004 でも用意されていない。SCORM では、クライアント側のコンテンツである SCO 内に任意のプログラムが記述できるので、規格の範囲内で実現できない機能は、ある程度 SCO で実現することができる。しかし、SCO からは教材全体の動作を制御することができない上に、SCO 内の機能に関しては何も規格が無いため、自由度が高い代わりに教材の作成も難しくなる、という、第 2 章に示した分類に従えば一体型と同様の問題も生じる。このように、現状の e ラーニング標準規格は、第 2 章で提示したような課題を解決できるような課題にはまだ到達していないといえる。

このような状況を他の分野の技術の流れと比較してみる。表 6.2 は、文献 (Baldwin & Clark 2000) におけるコンピュータシステムアーキテクチャの分野における技術進化と、第 2 章に示した学習支援システムのアーキテクチャの進化を対比して示したものである。この表の最初の行は、アーキテクチャの進化においてどのような「オペレータ」¹⁶が適用されたかを示している。例えば、IBM/System 360 以前のシステムから IBM/System 360 への進化においては、コンピュータシステムは、オペレーティングシステムの導入によってアプリケーションプログラムとハードウェアに明確に「分離」された。これによって、ハードウェアの細部はアプリケーションプログラムから隠蔽され、プログラマはハードウェアの制御を逐一記述する手間から解放された。また、IBM/System 360 ファミリーに属する機種であれば、ハードウェアの構成や性能が異なっても、同じアプリケーションプログラムを実行することが可能となった。つまり、アプリケーションを書き換えなくても、ハードウェアの構成や性能を向上させることが可能になり、アプリケーションとハードウェアが独立に進歩することが可能になったのである。

これは、学習支援システムのアーキテクチャで、一体型がモジュール型に進化したことに相当している。すなわち、モジュール型の技術である SCORM 規格によって、コンテンツとプラットフォームが「分離」された。これによって、プラットフォームの細部は教材から隠蔽され、教材作成者は、プラットフォームの細かな制御のための手間のかかるプログラミングを行わなくても、学習者適応機能を含む高度な機能を有する教材を作成することが可能となった。また、SCORM 規格に対応した LMS (プラットフォーム) であれば、どの会社の製品でも同じコンテンツを実行することが可能となった。つまり、コンテンツを書き換えなくても、LMS の機能や性能を向上させることが可能になり、教材とプラットフォームが独立に進化することが可能になったのである。

一方、IBM/System 360 では、利用者がオペレーティングシステム自体に新たな機能を追加したり、修正を行なうことは困難であった。同様に、モジュール型学習支援システムでも第 2 章に述べたように、プラットフォームに新たな機能を追加することは困難であった。表 6.2 の「抽出」オペレータの適用によって、このような課題の解決が図られる。

¹⁶ 文献 (Baldwin & Clark 2000) では、「分離」、「交換」、「追加」、「削除」、「抽出」、「転用」という 6 つのモジュール化オペレータを規定している。

表 6.2 コンピュータシステムアーキテクチャと学習支援システムアーキテクチャの進化の対比

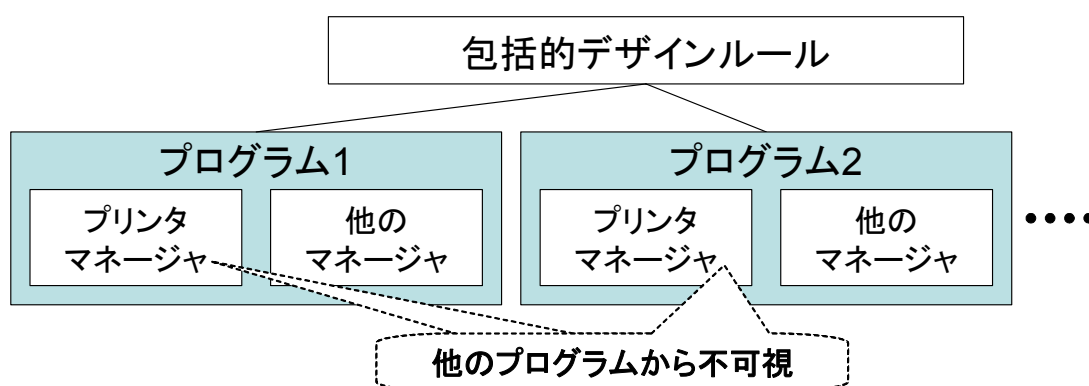
	オペレータ		「分離」	「抽出」	
分野	コンピュータシステムアーキテクチャ (Baldwin & Clark 2000)		<ul style="list-style-type: none"> IBM/System 360 以前のシステム 	<ul style="list-style-type: none"> IBM/System 360 	<ul style="list-style-type: none"> Unix
	学習支援システムアーキテクチャ	一体型 <ul style="list-style-type: none"> CDROM ベースの CAI 	モジュール型 <ul style="list-style-type: none"> 多くの ITS (溝口 1995) CALAT (第 3 章) SCORM (6.3) 	教材オブジェクト型 <ul style="list-style-type: none"> 本研究 OKI*) e-Framework**) 	
特徴	システムの構成	一体, ないし, 相互依存性のある構成要素	相互依存の無い, 上位と下位の構成要素	<ul style="list-style-type: none"> 複数の機能コンポーネント コンポーネント連携方法の記述 コンポーネントを連携実行させるメカニズム 	
	要求条件実現の容易性	困難 システム全体の細部に関する知識が要求される.	容易 下位構成要素の細部を知らなくても, 上位構成要素の作成で可能.	容易 コンポーネントの細部を知らなくても, コンポーネント連携方法の記述で可能.	
	機能の拡張性	可能 カスタム化は容易. しかし, このカスタム化は一品料理的.	困難 下位の構成要素に機能追加が必要になった場合の修正は容易ではなく, 既存の上位の構成要素が動かなくなる可能性あり.	容易 コンポーネントを追加すれば新しい機能が実現可能. 既存の連携方法記述が無効になることはない.	

*) <http://www.okiproject.org/>

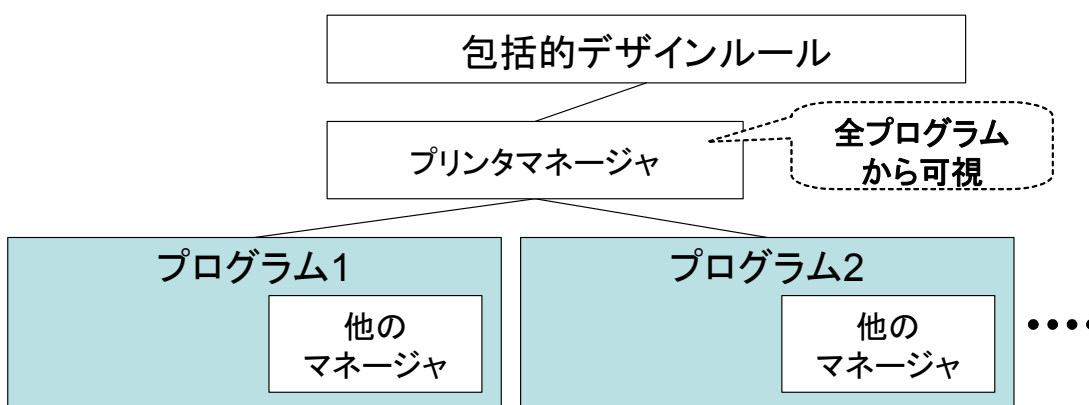
***) <http://www.e-framework.org/>

「抽出」とは, 多くのアプリケーションの内部に含まれる共通だが隠された機能を, 可視なコンポーネントとして外部に取り出し, それらのコンポーネントを連携して動作される

ためのメカニズムを導入することを指す。「抽出」の概念を図 6.7 に示す。図 6.7a) の抽出前の構成では、プリンタマネージャは各プログラムに共通的な機能だが、各プログラムで独自に実装されていて、外部からはその実装は隠されていて不可視である。これに対して、図 6.7b) の抽出後の構成では、プリンタマネージャはシステム全体の包括的デザインルールの配下に置かれ、他のプログラムの実装から可視で自由に利用可能なコンポーネントとなる。このとき、各プログラムとプリンタマネージャを連携させるための標準的なメカニズムが提供される。そして、このコンポーネントを連携させるための標準的なメカニズムにより、新たなコンポーネントの追加が可能となる。結果として、プログラムから利用可能なシステム側の機能を、後から柔軟に追加していくことが可能となる。



a) 「抽出」前のシステム構成



b) 「抽出」後のシステム構成

文献 (Baldwin & Clark 2000) の図を修正

図 6.7 共通機能の「抽出」

コンピュータシステムアーキテクチャの場合、このような「抽出」の典型的な例は Unix オペレーティングシステムに見られる。Unix ではオペレーティングシステム内部の随所にこのようなコンポーネント化の例が見られるが、中でも典型的な例はコマンドインタプリタのシェル (Tansley 1999) である。シェルは利用者がシステムを操作するための対話型の環境を提供する。シェルには予め組み込まれたコマンドがいくつか用意されているが、それ以外に、OS に付随して配布されるプログラムや、利用者が後から作成したプログラムを自由に呼び出すことができる。重要な点は、シェルが、これらの組み込みコマンドやプログラムを全く区別せずに連携させて動作させるメカニズムを提供している点である。すなわちこれらの組み込みコマンドやプログラムは、シェルの対話型環境からコマンド名やプログラム名を入力することで全く同様に起動できる。さらに、パイプと呼ばれるメカニズムを利用すると、あるコマンドやプログラムの出力を他のコマンドやプログラムの入力として利用することができる。このような入出力の接続は何段階にも渡って行なうことが可能であり、これによって非常に多岐にわたる処理を実現することが可能となる。

Unix のシェルにおける具体例をもとに、「抽出」の概念を再度整理すると以下のようになる。

- アプリケーションに共通する機能を可視なコンポーネントとして取り出す。
- アプリケーションの要求仕様を実現するために、コンポーネントをどのように連携させるかを記述する方法を定める。
- その記述に従ってコンポーネントを連携して動作させるメカニズムを用意する。
- アプリケーションの要求仕様を実現するために、既存のコンポーネントで機能が足りない場合は、新たなコンポーネントを作成して追加する。

このような観点から見ると、本研究で提案した教材オブジェクトを用いた学習支援システムアーキテクチャは、SCORM などのモジュール型学習支援システムアーキテクチャに対して、さらに「抽出」オペレータを適用したのになっていることがわかる。すなわち、教材オブジェクトを用いた学習支援システムアーキテクチャでは、

- アプリケーションに共通する機能を可視なコンポーネント＝「教材オブジェクト」
- コンポーネントをどのように連携させるかを記述する方法＝「教材定義」
- その記述に従ってコンポーネントを連携して動作させるメカニズム＝「プラットフォーム」
- 要求仕様を実現するために、既存の教材オブジェクトで機能が足りない場合は、新たな教材オブジェクトを作成して追加する。

という対応関係がなりたっていることがわかる。このように、本研究の提案は、SCORM などの次の世代の e ラーニング技術標準化の方向性を示していると考えられる。

なお、e ラーニング技術標準化の分野では、このような「抽出」オペレータに基づくコンポ

ーネット化というアイデアは、OKI¹⁷, e-Framework¹⁸, IMS Tools Interoperability (IMS Global Learning Consortium 2006) などのプロジェクトで既に提案されている。これらのプロジェクトでは、学習管理システムに包含されていた「教材配信機能」、「コミュニケーション機能」、「学習者管理機能」、「著作権管理機能」などを、近年の Web サービス技術 (丸山 他 2004) を活用してコンポーネントとして取り出して提供し、これらを組み合わせて、学習管理に必要とされる機能を構築しようとするものである。これに対して、本研究で提案した教材オブジェクトを用いた学習支援システムアーキテクチャは、WBT やテストイングなど学習管理システムの中でも「教材配信機能」の中のアーキテクチャに関するものであり、より粒度の細かいコンポーネントを対象としている点が異なっている。

6.6.2 教育環境に及ぼす影響

6.5.2 に述べた Open University の事例のように、技術を活用した教育、すなわち、広義の e ラーニングが、既存の教育環境に対して大きな影響を及ぼしつつあることは異論のないところであろう。また、e ラーニングにおいては IT が不可欠の技術基盤であり、IT 自体の進化が教育環境の進化に対して大きな影響を与えるであろうことも想定することはできる。しかしその中で、e ラーニング技術標準化、あるいは、本研究で対象としたような学習支援システムアーキテクチャがどの程度本質的な影響力を持つのかは、現時点では明らかになっておらず、今後検証を重ねていく必要があると考えられる。そこで、本節では、e ラーニング技術標準化、あるいは、学習支援システムアーキテクチャと教育環境の係わり合いについて、いくつかの可能性を示唆する。

図 6.8 に、時間・場所の制約という軸と、一斉教育か個別教育かという軸でみた教育形態の分類を示す。初期の e ラーニングは放送型の遠隔教育と同様に左上の象限に属し、左下の一斉型のクラスルーム教育に対して、時間・場所の制約を取り除いたものであったと考えることができる。このような形態では、安価に大量の e ラーニング教材を作成する必要があることから、モジュール型の学習支援システムを導入して教材作成の容易化を図ることは、このような学習形態においては必然的であったといえる。

これに対して、近年の e ラーニングにおいては、右上の象限で示されるように、インターネットの双方向性を活用した個別教育の要求が高まりつつある。これには、ひとつは、ネットワークを利用した学習環境では、学習者の適切なモチベーションを保って学習を持続させるために個人ごとに個別の支援が必要であるという観点 (松田 他 2005) がある。また、インストラクショナルデザインの立場から構成主義的な学習支援要素などを導入し、ペアや小グループによる学習活動なども取り入れながら、より高度で豊かな学習経験を提供しようという観点 (鈴木 2005a) がある。

¹⁷ <http://www.okiproject.org/>

¹⁸ <http://www.e-framework.org/>

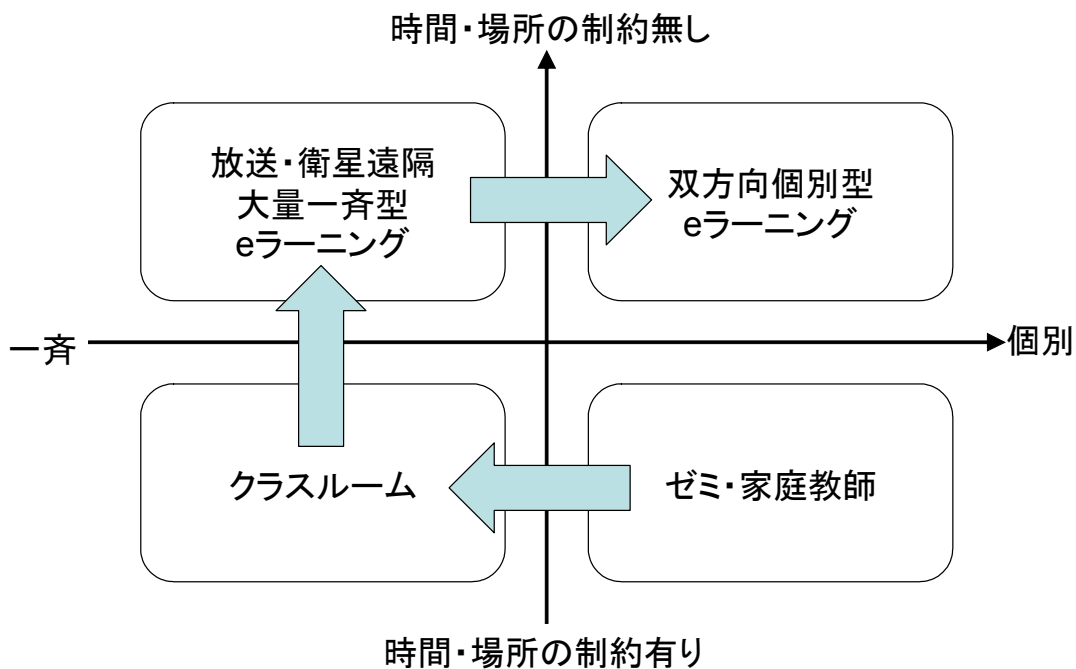


図 6.8 教育形態の分類

いずれにしても、このように高度な個別性が要求される教育環境では、従来の大量一斉型の e ラーニングとは異なる形での IT による学習支援が必要になると考えられる。そして、e ラーニング教材に対しても、安価に大量の教材が作成可能という以上に、指導者やさらには学習者による個別カスタマイズが簡単に行なえる、という要求条件が課せられてくる可能性がある。このような要求条件に対して、本研究で提案した教材オブジェクトを用いた学習支援システムアーキテクチャは、基盤技術としてひとつの可能な方向性にあると考えられる。

もちろん、このような要求条件は、本研究で示した技術の範囲では完全に満たすことはできない。IT を用いた学習環境の設計指針をインストラクショナルデザインに求めるとした場合（鈴木 2005a）、そこに示された学習方略を学習支援環境上の機能として実現する方法論（林 他 2003）、また、その機能を適切なグレんサイズの教材オブジェクトに対応付けて実装する方法論を開発していく必要がある。さらに、指導者や学習者による個別のカスタマイズを想定すると、専門の教材作成者が使用するよりも、さらに直感的で容易に扱える教材編集操作環境の研究開発が必要となるであろう。

6.7 結言

本研究で提案した教材オブジェクトに基づく学習支援システムアーキテクチャの意義と今後の役割について考察した。

eラーニング技術標準化の観点では、6.6で述べたように、本研究の位置付けからすると、現状の標準化技術はモジュール型学習支援システムアーキテクチャのレベルにとどまっている。コンピュータアーキテクチャの技術進化との対比からすると、本研究で提案した教材オブジェクトに基づく学習支援システムアーキテクチャは次世代のeラーニング技術標準化の技術基盤となる可能性を有しているといえる。

一方、6.5に述べたように、eラーニング技術標準化ないしは学習支援システムアーキテクチャが、eラーニングの運営モデルないしビジネスモデルといった広い意味での学習環境にどのような影響を及ぼすかは未だ明らかになっていない。しかし、一般のビジネスにおいては、6.4に示したように、ITの進化やその中での技術標準化が、ビジネスモデルに対して重大な影響を及ぼすことは当然のことになってきている。オープンスタンダードに起因する技術進化の加速は、近年のインターネット技術やオープンソースソフトウェアなどの動きの中でより顕著になってきている。その流れの中では、「ロングテール」と呼ばれる現象（梅田 2006）に代表されるように、大規模に分散したネットワークの中で、個人個人が個別に、しかし一方で一定の原則のもとに、ネットワーク上に配置された資源や他の個人と自在かつ瞬時にコミュニケーションを取り合いながら、個別のニーズを満たしていく、という姿がより一般的に鮮明になっていくであろう。このような流れの中で、eラーニングにおいても、学習支援システムアーキテクチャや技術標準化のありかたを模索していく必要があると考えられる。

第7章 まとめ

本章では，本研究で得られた主な成果を各章ごとに総括し，今後検討すべき課題について述べる．

第2章では，拡張性を有する Web ベース学習支援システムのアーキテクチャを検討するうえで共通する課題と，本研究で提案した教材オブジェクトに基づくアプローチについて述べた．WBT システムやオンラインテストシステム機能を整理し，これらに共通するシステム上の課題を示した．これから，Web ベース学習支援システムのアーキテクチャを検討する際の要求条件として，

- (1) 教材開発の容易化
- (2) 機能のカスタマイズ，拡張の容易化
- (3) 教材構成要素の流通・再利用
- (4) 既存基盤技術との親和性

の4点を導いた．

さらに，学習支援システムを，プラットフォーム，教材定義，教材オブジェクトから構成し，教材作成者が作成する教材定義によって実行時に使用する教材オブジェクトを指定し，プラットフォームは，教材定義に従って，学習実行時に複数の教材オブジェクトを連携させて動作させる，という仕組みによって上の4つの要求条件が満たされる見通しがあることを示した．

第3章では，まず，従来型の WBT システムについて，Web 環境において個人適応型学習支援機能を実現する上での技術課題と解決策，具体的なシステムの実装を示した．WWW のサーバ/クライアント構成を拡張して，サーバ側で個々の学習者毎の CAI プロセスが稼動し，学習者は WWW クライアントを用いてネットワーク経由で学習を行なう構成とした．サーバ側に CAI プロセスと個々の学習者の対応関係を保持する学習者識別機構を設け，WWW のステートレスプロトコルを変更せずに，演習問題の解答内容などに応じて学習の流れを変更する個人適応型学習機能を実現した．また，サーバから転送した制御スクリプトをクライアントで解釈実行する表示制御方式を開発し，表示応答速度の向上，サーバからの教材画面制御，対話型シミュレーション教材の利用，を可能とした．実装したシステムの評価を行い，学習者識別機構，データ転送表示機能の有効性を確認した．

このシステムでは，Web 環境で個人適応型学習支援システムを実現する上での基本的な課題の解決策とその有効性を示したが，構成は従来のモジュール型で，基本的な機能は初期の開発時に固定されており，運用を行なうにつれて生じる様々なカスタマイズや機能拡張の要求に応えることが難しいことが明らかになった．本研究全体のテーマである，教材オブジェクトに基づく拡張性を有する Web ベース学習支援システムアーキテクチャは，このようなカスタマイズや機能拡張に関する課題の解決を目指したものである．

第4章では、第2章で示した教材オブジェクトに基づくアプローチのWBTシステムへの適用について述べた。木構造型のWBT教材の各ノードに対応した教材オブジェクトを構成要素としてWBTシステムを構成した。教授戦略、ユーザインターフェースなどの機能を有する教材オブジェクトクラスを予め用意し、学習時には、別途作成した教材定義に従い、教材オブジェクトクラスを各ノードに対してインスタンス化して教材オブジェクトインスタンスとして実行する。教材オブジェクトインスタンス間のインターフェースを規定し、教材オブジェクトクラスの追加によって提示教材選択ロジックや画面生成ロジックのカスタマイズ・機能拡張が容易に行えることを目指した構成となっている。そのために、複数の教材オブジェクトが連携して動作するためのコマンド処理方式、WWWの対話型マルチメディア機能を組み込むための画面生成方式、および、オブジェクトの継承による機能拡張・カスタマイズの方式を提案した。さらに具体的な適用例を通じて本手法の有効性を示した。

本システムの課題のひとつに学習結果管理機能の教材オブジェクトへの統合が挙げられる。学習履歴の参照機能は研究的にはあまり取り上げられてこなかったが、学習評価のためには非常に重要な機能である (Ritter et al. 2003, 大川 他 2000)。学習履歴の内容は教授戦略や教材種別に大きく依存するので、学習結果管理機能を教材オブジェクトへ統合し、学習の実行機能と評価機能をひとつのオブジェクトに持たせることは非常に自然である。

他の課題として、本論文で示した教材オブジェクトの考え方を分散環境に拡張することが挙げられる。WWWの出現以来、ネットワーク上に分散した教材を統合・再利用してひとつのカリキュラムや教育環境を構築できるようにしよう、という提案はいくつかなされているが (Nakabayashi et al. 1995, Murray 1998)、いまだに実用的に使用されている例はあまり見られない。本論文では、教材オブジェクトの独立性を高め、オブジェクト間の要求のやり取りを明確に規定しており、これを近年のWebサービス技術などを用いて分散環境に拡張することは興味深い課題である。

また、SCORMの最新バージョンSCORM 2004 (Advanced Distributed Learning Initiative 2004)では学習者適応のためのシーケンシング機能が規格として定められた。本システムによるこの規格の実装も実用上重要な課題である。

第5章では、第2章で示したアプローチのオンラインシステムへの適用について述べた。オンラインテストの標準規格であるQTI規格に準拠したシステムとした。テスト処理を、大きく「出題選択」、「表示」、「応答」、「集約」の4つの処理に分け、この4つの処理要素からシステムを構成した。各々の処理要素に対する実際の処理機能を実装した教材オブジェクトを事前に用意し、テスト実施時には、教材定義に従ってこれらの教材オブジェクトを呼び出して実行する。教材オブジェクトの種別を後から追加することによって、出題問題選択方法、問題形式、採点方法などのカスタマイズ・機能追加が可能となっている。医師国家試験の模擬試験に適用し操作性、応答性の評価を行った。機能面では、ランダム出題機能、画像を用いた出題機能など、本システムで実現したQTI規格の機能の

有効性が確認された。

一方、本システムの課題として以下のような点が明らかとなった。まず、今回開発したシステムでは、性能よりも、各種のテスト実行形式に対応可能とする柔軟性、教材オブジェクトによる機能拡張性を優先させた。このため、実験結果では、性能面で問題があることが明らかとなった。一般的に、本研究で提案した教材オブジェクトに基づく e ラーニングシステムアーキテクチャでは、応答性能と柔軟性・機能拡張性を両立させるシステム構成の設計手法の確立が課題であると考えられる。

また、テストシステム機能面では、問題・解答の一覧性や書き込み機能など操作性の改善が必要である。これらの機能は QTI 規格では規定されていないが、試験実施者にとってはこれらの機能も含めて試験環境として指定したい事項だと思われる。一覧性に関しては、個々の設問の表示処理だけでなく設問群の表示処理に関する規定を定める必要がある。また、書き込み機能に関しては、QTI 規格では規定を拡張する必要があることが明らかとなった。

第 6 章では、本研究で提案した教材オブジェクトに基づく学習支援システムアーキテクチャの意義と今後の役割について、e ラーニング技術標準化の観点、および、e ラーニング技術標準化ないしは学習支援システムアーキテクチャが e ラーニングの運営モデルないしビジネスモデルといった広い意味での学習環境に及ぼす影響という観点から論じた。まず、e ラーニング標準規格の近年の動向について概観した。e ラーニング技術標準化が基本的な情報の表現形式やフォーマットに関する規格の標準化から、より高度あるいは広範囲な規格開発を目指す方向と、規格の普及利用を促進する方向に進展していることを述べた。さらに、IT 化が社会活動の基盤となっている今日では、技術標準化が産業を活性化するために非常に重要な役割を担っていることが明らかになりつつあることに着目し、e ラーニングにおいて技術標準化の果たすべき役割・付加価値の創造という観点から考察を行った。e ラーニングベンダに対する標準化に関する考え方のアンケートから、標準化の重要性は十分認識されているが、標準化の効用を十分に活用するには至っておらず、この理由として、規格自体がまだ未成熟で活用のための情報も不足している、という原因が想定されることを示した。また、近年の IT 化がもたらす産業構造の変化においてみられる「イノベータのジレンマ」として知られる事象が e ラーニングビジネスにおいて見られるかどうかを検討し、英国の Open University の成長の事例がこれに該当する可能性があることを示唆した。最後に、本研究の位置付けからすると、現状の e ラーニング標準化技術はモジュール型の学習支援システムアーキテクチャのレベルにとどまっており、本研究で提案した教材オブジェクトに基づく学習支援システムアーキテクチャは次世代の e ラーニング技術標準化の技術基盤となる可能性を有していることを示した。

e ラーニング技術標準化に関しては以下のような課題が挙げられる。まず、SCORM 2004 は、これまでばらばらに構築されていた学習コンテンツに関する知的処理技術を統合していく実用的な技術基盤となる可能性を有している。この際、LD 規格や QA 規格のような e

ラーニング全体の設計や品質に関わる規格と、SCORMのようなコンテンツ規格との関連をどのように捉えるかは、コンテンツ作成の容易化、高品質化の観点から非常に重要な課題である。また、LOMをベースとする分散リポジトリによって提供される多量の「実」コンテンツを、オントロジー（池田・林 2004）による知識体系と結びつけて、より高度でスケラビリティの高い学習コンテンツ検索・再利用の枠組みを構築することも、eラーニング技術標準化が可能とする研究分野といえる。

eラーニング技術標準化の観点からは、本研究で提案した教材オブジェクトに基づく学習支援システムアーキテクチャは、次世代のeラーニング技術標準化の技術基盤となる可能性を有している。一方で、今後の高度な個性が要求されるeラーニング学習環境での様々な要求条件に適合するためには、インストラクショナルデザインなどの観点からの学習方略の実現法、適切なグレンサイズの教材オブジェクトへのマッピングの方法などを模索していく必要がある。

標準化やモジュール化という考え方がもたらす産業的な価値、という観点からは、eラーニング技術標準化とeラーニングの運営モデルないしビジネスモデルを関連付けてeラーニング技術標準化の役割、付加価値を定式化する試みはほとんど行われていない。一般に、標準化あるいはシステムアーキテクチャの分野は、通常の研究対象としては非常に扱いはない。これは、標準化やシステムアーキテクチャ技術が機能や品質の向上を「直接的に」実現するものではなく、その評価が難しいためである。標準化が将来的に個々の構成要素の独立な進化による価値の創出を可能にするとしても、標準化自体は新たな価値を生み出すわけではない。標準化技術は、「他の技術を可能とするenabler技術」であり、それ自体は「目的を持たない汎用技術」（池田 2005）である。一方で、研究開発と標準化を同時進行させ、標準化推進により市場獲得を狙う（新宅 他 2000）という観点から、標準化技術は産業的にこれまで以上に重要な意義を持ってきている。標準化やシステムアーキテクチャ技術は「目的を持たない汎用技術」であるが、これは標準化やシステムアーキテクチャという観点からは汎用的であればあるほど価値があるということであり、これらの技術の進展には応用領域である教育分野の研究や実践からのインプットや相互作用が不可欠であることは言うまでもない。このような「目的を持たない汎用技術」であるこれらの技術を、定量的に評価し学術的な研究対象として扱う枠組みの確立が今後必要となろう。

そのような観点で、本研究で提案した教材オブジェクトに基づくeラーニングシステムアーキテクチャが、従来のeラーニングシステムや標準化技術と比較してどの程度の価値の向上をもたらすかを定量的に把握することは非常に興味深い課題である。文献（Baldwin & Clark 2000）では、IBM/System360やUnixなどに関してこのような考察を行っており、同様の考え方が本研究の提案内容に対して適用可能かどうかを今後検討していく必要がある。

また、現在世界的に進展しつつある高等教育や企業内教育におけるeラーニングビジネスが、「イノベータのジレンマ」のような枠組みから見たとき、どのような成長の軌跡を描

くと想定されるのか、さらに、その中で技術標準化がどのような役割を果たすと想定されるのかを明らかにすることも重要な課題である。イギリスとオーストラリアが政府レベルで連携して進めようとしている **e-Framework** プロジェクト¹⁹では、eラーニングビジネスの要件から導かれる高レベルの抽象的なサービスの集合として eラーニングシステムを捉えて、拡張性が高く様々な成果を統合しやすい枠組みの構築を目指す試みが進められている。このような eラーニングシステムが eラーニングビジネスにもたらす付加価値を定量化し、これらを通じて、標準化あるいはシステムアーキテクチャの分野を研究対象として扱うための枠組みの確立が今後重要となるであろう。

オープンスタンダードに起因する技術進化の加速は、近年のインターネット技術やオープンソースソフトウェアなどの動きの中でより顕著になってきている。「ロングテール現象」に代表されるように、大規模に分散したネットワークの中で、個人個人が個別に、しかし一方で一定の原則のもとに、ネットワーク上に配置された資源や他の個人と自在かつ瞬時にコミュニケーションを取り合いながら、個別のニーズを満たしていく、という姿がより一般的に鮮明になっていくであろう。このような流れの中で、eラーニングにおいても、学習支援システムアーキテクチャや技術標準化のありかたを模索していく必要があると考えられる。

¹⁹ <http://www.e-framework.org/>

謝辞

本研究を進めるに当たって、懇切なご指導、ご討論をいただいた早稲田大学人間科学学術院 永岡慶三教授に深く感謝の意を表します。

本研究の意義、内容、今後の展開に関して、ご多忙の中、貴重なご教示をいただいた、北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科 池田満教授、早稲田大学人間科学学術院 野嶋栄一郎教授、金群教授に厚く感謝の意を表します。

オンラインテストシステムの研究において、開発システムの機能、実験内容に関して熱心にご討論いただくとともに、コンテンツ、実験環境をご提供いただいた、東京女子医科大学医学部 吉岡俊正教授に感謝の意を表します。

e ラーニング標準化に関する研究において、基となる論文を共同執筆いただくとともに、日ごろより高い見地からご支援をいただき、独立行政法人メディア教育開発センター 清水康敬理事長、山田恒夫研究開発部長に感謝の意を表します。

e ラーニング標準化に関する研究のうち、イギリス Open University における調査の機会を与えていただいた、長岡技術科学大学 e ラーニング研究実践センター 福村好美教授に感謝します。

e ラーニング標準化に関する国内外での活動の機会を与えていただくとともに、日ごろからご指導、ご鞭撻をいただき、情報処理学会情報規格調査会 SC36 専門委員会、特定非営利活動法人日本イーラーニングコンソシアム、旧先進学習基盤協議会の各団体関係諸氏に厚く感謝します。

日本電信電話株式会社情報通信研究所在籍当時より e ラーニングならびに学習支援システムの研究開発に関してご指導いただき、博士課程での研究を奨めてくださった慶應義塾大学デジタルメディア・コンテンツ統合研究機構 福原美三教授に厚く感謝の意を表します。

本研究の機会を与えていただき、様々なご指導、ご支援、ご協力をいただいた、日本電信電話株式会社情報通信研究所、ならびに、NTT レゾナント株式会社の上司、先輩、後輩の諸氏に深く感謝の意を表します。

最後に、20 年間にわたって、研究活動を見守り、心身両面から暖かく支援してくれた、妻 絵里子に心より感謝の意を表します。

参考文献

- Advanced Distributed Learning Initiative (2004) Sharable Content Object Reference Model (SCORM) 2004 2nd Edition.
- Baldwin, C. Y. and Clark, K. B. (2000) Design Rules, Vol. 1: The Power of Modularity. The MIT Press, Boston, MA. 安藤晴彦 (訳) (2004) デザイン・ルール — モジュール化パワー. 東洋経済, 東京.
- Berners-Lee, T., et al. (1994) The World-Wide Web. Communicatoin of the ACM, **37**(8), 76-82.
- Carnegie Mellon University Learning Systems Architecture Lab (2003) SCORM Best Practice Guide for Content Developers, 1st Edition.
- Christensen, C. M. (1997) The Innovator's Dilemma. Harvard Business School Press, Boston, MA. 玉田俊平太, 伊豆原弓 (訳) (2001) イノベーションのジレンマ. 翔泳社, 東京.
- Christensen, C. M. and Raynor, M. E. (2003) The Innovator's Solution: Creating and Sustaining Successful Growth. Harvard Business School Press, Boston, MA. 玉田俊平太, 櫻井祐子 (訳) (2003) イノベーションへの解 — 利益ある成長に向けて. 翔泳社, 東京.
- Davis, N. B. et al. (1994) Interactive Computer Based Programs versus Traditional Methods for Self-Study. Proc. WWW '94 fall.
- Dick, W., Carey, L., and Carey, J. O. (2001) The Systematic Design of Instruction, 5th Edition. Addison-Wesley, Boston, MA. 角 行之 (訳) (2004) はじめてのインストラクショナルデザイン. ピアソンエデュケーション, 東京.
- Fallon, C. and Brown, S. (2003) e-Learning Standards. St. Lucie Press, Boca Raton.
- Fukuhara, Y., Kimura, F., Kohama, C., and Nakamura, Y. (1995) A Knowledge-based Educational Environment Integrating Conceptual Knowledge and Procedural Knowledge in Telecommunication Service Field. Proc. ED-MEDIA 95, 229-234.
- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., and Vlissides, J. (1995) Design Patterns. Addison-Wesley, Boston, MA. 本位田真一, 吉田和樹 (訳) (1999) オブジェクト指向における再利用のためのデザインパターン. ソフトバンククリエイティブ, 東京.

Goldwin-Jones, D. (1994) Language Learning and the WWW. Proc. WWW '94 fall.

林 雄介, 山崎龍太郎, 池田 満, 溝口理一郎 (2003) オントロジーウェアな学習コンテンツ設計環境. 情報処理学会論文誌, **44**(1), 195-208.

Hayashi, Y., Tsumoto, H., Ikeda, M., and Mizoguchi, R. (2003) *Kfarm*: An Ontology-aware Support Environment for Learning-Oriented Knowledge Management. 教育システム情報学会英文論文誌, **1**(1), 80-89.

林 雄介, 池田 満 (2005) SCORM 2004 準拠学習コンテンツの知識レベル設計支援 – 知的学習支援プラットフォームに関するオントロジー工学的考察 –. 人工知能学会研究会資料 SIG-SWO-A404, 7-1 - 7-10.

平田謙次 (2005) e ラーニングにおける品質保証モデルと要素. 教育システム情報学会研究報告, **20**(1), 3-6.

Ibrahim, B. and Franklin, S. D. (1995) Advanced Educational Uses of the World-Wide Web. Proc. 3rd World-Wide Web Conf.

池田 央 (1994) 現代テスト理論. 朝倉書店, 東京.

池田 満, 林 雄介 (2004) オントロジーを基礎にした学習活動のモデリング. 教育システム情報学会誌, **21**(3), 168-177.

池田信夫 (2005) 情報技術と組織のアーキテクチャモジュール化の経済学. NTT 出版, 東京.

IMS Global Learning Consortium (2001) Learning Resource Meta-Data Specification version 1.2.1.

IMS Global Learning Consortium (2003a) Learning Design Version 1.0 Final Specification.

IMS Global Learning Consortium (2003b) Question & Test Interoperability Specification version 1.2.1.

IMS Global Learning Consortium (2006) IMS Tools Interoperability Guidelines Version 1.0.

International Organization for Standardization and the International Electrotechnical Commission (2005) ISO/IEC 19796-1:2005, Information technology – Learning, education and training – Quality management, assurance and metrics – Part 1: General approach Final Draft International Standard.

- 香取 一昭 (2001) eラーニング経営—ナレッジ・エコノミー時代の人材戦略. エルコ, 東京.
- Kay, J. and Kummerfeld, R. J. (1994) An individualized course for the C programming language. Proc. 2nd WWW Conf.
- Koper, E. J. R. (2001) Modeling units of study from a pedagogical perspective: the pedagogical metamodel behind EML. Open University of Netherlands.
- Lee, W. W. and Owens, D. L. (2000) Multimedia-Based Instructional Design: Computer-Based Training, Web-Based Training, Distance Broadcast Training. Jossey-Bass/Pfeiffer, San Francisco. 清水康敬, 日本ラーニングコンソシアム (訳) (2003) インストラクショナルデザイン入門. 東京電機大学出版局, 東京.
- 丸山 宏, 牧野友紀, 天野富夫 (2004) Web サービス: Web サービスの系譜. 情報処理, **45**(8), 844-847.
- 松田岳士, 本名信行, 加藤 浩 (2005) eメンタリングガイドラインの形成とその評価. 日本教育工学会論文誌, **29**(3), 239-250.
- 三宅なほみ, 白水 始 (2003) 学習科学とテクノロジー. 放送大学教育振興会, 東京.
- 溝口理一郎 (1995) 知的教育システム. 情報処理, **36**(2), 177-186.
- Miao, Y., Hoeksema, K., Hoppe, H. U., and Harrer, A. (2005) CSCL Scripts: Modeling Features and Potential Use. Proc. International Conference on Computer Supported Collaborative Learning.
- Murray, T. (1998) A model for distributed curriculum on the World Wide Web. Journal of Interactive Media in Education, **98**(5), 1-32.
- Murray, T. (2003) An overview of intelligent tutoring system authoring tools. in Authoring Tools for Advanced Technology Learning Environments. Murray, T., Blessing, S., and Ainsworth, S. (Eds.), 491-544, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Murray, T., Blessing, S., and Ainsworth, S. (Eds.) (2003) Authoring Tools for Advanced Technology Learning Environments. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- 永岡慶三 (2000) 予測機能を有する実用型コンピュータ・テスト・システムの研究開発. 日本教育工学会雑誌, **24**(1), 63-72.
- Nakabayashi, K., Koike, Y., Maruyama, M., Touhei, H., Ishiuchi, S., and Fukuhara, Y. (1995) A distributed Intelligent-CAI System on the World-Wide Web. Proc.

International Conference on Computers in Education 1995, 214-221.

Nakabayashi, K., Maruyama, M., Koike, Y., Fukuhara, Y., and Nakamura, Y. (1996) An Intelligent Tutoring System on the WWW Supporting Interactive Simulation Environment with a Multimedia Viewer Control Mechanism. Proc. WebNet 96.

仲林 清, 小池義昌, 丸山美奈, 東平洋史, 福原美三, 中村行宏 (1997) WWW を用いた知的 CAI システム CALAT. 電子情報通信学会論文誌, **J80-D-II(4)**, 906-914.

Nakabayashi, K., Hoshide, T., Seshimo, H., and Fukuhara, Y. (1998) An Object-Oriented Architecture for a Web-based CAI System. Proc. ED-Media98, 995-1000.

仲林 清 (2001) LMS(Learning Management System)による統合型 e-Learning 環境の実現. 教育システム情報学会誌, **18(3・4)**, 427-432.

仲林 清 (2002a) e-Learning の要素技術と標準化. 情報処理, **43(4)**, 401-406.

仲林 清 (2002b) 教育支援システムの技術標準化動向. 人工知能学会誌, **17(4)**, 465-470.

仲林 清 (2003) e-Learning 技術の標準化動向. 教育システム情報学会研究報告, **18(1)**, 11-18.

Nakabayashi, K. (2004) e-Learning Technology Standardization – Make It Converge!! –. Proc. of International Conference on Computers in Education, 33-39.

仲林 清, 永岡慶三 (2005) 拡張性向上のための教材オブジェクトアーキテクチャを用いた WBT システムの開発. 電子情報通信学会論文誌, **J88-D-I(6)**, 1104-1114.

仲林 清, 中村明仁, 小坂洋一, 永岡慶三 (2005) SCORM 2004 実行エンジンの実装と課題. 教育システム情報学会研究報告, **20 (1)**, 23-30.

Nakabayashi, K. (2006) International SCORM Adoption: SCORM Promotion Activities in the Asian Region. International Plugfest II, <http://www.adlnet.org/downloads/files/249.cfm>.

中山 洋 (1999) 一斉授業改善を目的としたテスト支援システムの開発と効果. 教育システム情報学会誌, **16(1)**, 25-33.

岡本敏雄 (2000) インターネット時代の教育情報工学 I, II. 森北, 東京.

大川正人, 室田真男, 中山 実, 清水康敬 (2000) Web ベース学習における学習履歴画面の時系列再現システムの開発. 電子情報通信学会論文誌, **J83-D-I(6)**, 651-657.

- 大友賢二 (1996) 項目応答理論入門. 大修館書店, 東京.
- 大槻節平 (2000) 知的学習環境の構成論. 電子情報通信学会論文誌, **J83-D-I(6)**, 515-522.
- Question Mark Computing Ltd. (2003) Getting started with Perception version 3.
- Rehak, D. R., Dodds, P., and Lannom, P. (2005) A Model and Infrastructure for Federated Learning Content Repositories. Proc. 14th International World Wide Web Conference.
- Ritter, S., Blessing, S., and Wheeler, L. (2003) Authoring tools for component based learning environments. in Authoring Tools for Advanced Technology Learning Environments. Murray, T., Blessing, S., and Ainsworth, S. (Eds.), 467-489, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Robertson, D., Johnston, W., and Nip, W. (1994) Virtual Frog Dissection: Interactive 3D Graphics via the Web. Proc. WWW '94 fall.
- Roschelle, J., Kaput, J., Stroup, W., and Kahn, T. M. (1998) Scalable integration of Educational Software: Exploring the promise of component architectures. Journal of Interactive Media in Education, **98(6)**, 1-31.
- Schwarz, E., Brusilovsky, P., and Weber, G. (1996) World-wide intelligent textbooks. Proc. ED-TELECOM 96, 302-307.
- 鈴木克明 (2005a) 教育・学習のモデルと ICT 利用の展望: 教授設計理論の視座から. 教育システム情報学会誌, **22(1)**, 42-53.
- 鈴木克明 (2005b) e-Learning 実践のためのインストラクショナルデザイン. 日本教育工学会誌, **29(3)**, 197-205.
- 先進学習基盤協議会 (2003) e ラーニング白書 2003/2004. オーム社, 東京.
- 人工知能学会 (2005) 特集: セマンティック Web サービス. 人工知能学会誌, **20(6)**.
- 新宅純二郎, 許斐義信, 柴田高(編) (2000) デファクト・スタンダードの本質 —技術覇権競争の新展開—. 有斐閣, 東京.
- 谷川 健, 富士 隆 (1998) CORBA を用いた分散型学習システムの開発. 情報処理学会論文誌, **39(7)**, 2380-2390.
- 谷川 健, 富士 隆 (2003) 分散オブジェクト技術を用いた知的 e-learning システム構築法. 電子情報通信学会技術研究報告, **KBSE2003(6)**.

Tansley, D (1999) *Linux and Unix Shell Programming*. Addison-Wesley, Boston, MA. 服部由美子 (訳) (2002) *Linux & UNIX Shell プログラミング*. ピアソンエデュケーション, 東京.

梅田望夫 (2006) *Web 進化論*. ちくま, 東京.

山田英夫 (1999) *デファクト・スタンダードの経営戦略*. 中公公論, 東京.

吉田 文 (2003) *アメリカ高等教育における e ラーニング — 日本への教訓*. 東京電機大学出版局, 東京.

吉田 文, 中原 淳, 田口真奈 (2005) *大学 e ラーニングの経営戦略 — 成功の条件*. 東京電機大学出版局, 東京.

Wenger, E. (1987) *Artificial Intelligence and Tutoring Systems: Computational and Cognitive Approaches to the Communication of Knowledge*. Morgan Kaufmann, San Francisco, CA. 岡本敏雄, 溝口理一郎 (訳) (1990) *知的 CAI システム—知識の相互伝達への認知科学的アプローチ*. オーム社, 東京.

Zona Research, Inc. (1999) *The Need for Speed*, な い し
<http://yougo.ascii24.com/gh/77/007752.html>.

