

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：82646

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23653279

研究課題名(和文) ホロン(全体子)を埋め込んだ自己成長型教育システム

研究課題名(英文) Holon Embedded Self-propagating Instructional System

研究代表者

毛利 尚武 (Mohri, Naotake)

独立行政法人大学評価・学位授与機構・研究開発部・教授

研究者番号：90126186

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：研究成果の概要(和文)：この研究は特に工学の分野において多様で柔軟な教育を実現するために、公教育とは独立にこれを補完する仕組みの可能性を調査する。そのために、可能な教育コンテンツにホロン(全体子)の概念を導入し、ネットワークを利用して自己成長する教育の仕組みを提案した。ネットワーク上にある教育コンテンツにホロンの属性を与えて、ホロン同士の分散協調により、エージェントである学習者は自己の能力向上を高めると共に、教育コンテンツそのものを創り出していく。具体的に大学講義の聴講者に対して課題を与えネットワーク上の閲覧履歴を探索して分析を実行した。

研究成果の概要(英文)：For learner-centered learning, it is difficult for learner to arrange knowledge systematically. The knowledge tends to be fragmentary while understanding of the learner is insufficient. We propose a system to build systematic knowledge classifying fragmentary knowledge depending on their size and connecting them hierarchically with self-organizing algorithm. We designed data structure for visualization of linkage among fragmentary knowledge, and implemented user interface to edit them. Experimental surveys were performed on the students attending a lecture at a university.

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：教育学・教育社会学

キーワード：教育情報システム 教育学 教育社会学 生涯教育 全体子 ホロンコンテンツ

1. 研究開始当初の背景

日本の高等教育なかんずく工学教育は、先頃までは優れた技術者を育み、世界に通用する技術を世に送りだしてきた。一方、今日では、産業構造のグローバル化に伴って生産拠点は海外に移り、青少年の理科離れが進行し、かつての上昇傾向は影を潜めてしまった[林幸秀、理系冷遇社会 2010]。理工系の学位を取得する学生の割合は低下している。この要因として日本のかつての繁栄自体にあるとする見方もある[クレイトン・クリステンセンら、教育×破壊的イノベーション 2008]。一方において、今日の教育制度においては、就学・就職と年齢とに強い同期が取られていることが課題であるとの指摘がある。年齢を問わない生涯教育の多様性に活路を見出すべきであり、これまでの固い標準型人生の弾力化を図り、分野・職種を移動できる能力の涵養、社会・国家の規範教育などの重要性が示されている。その実現のためには IT を活用した新しい教育社会システムの設計が必要である[矢野真和：教育社会の設計 2001]。

近年の高等教育機関が e-learning も含め、多様化した学生への対応に多大な努力を払っているのはもとよりであるが、上記の状況が解決される見通しは立ってはいない。したがって、当面の公的制度のもとで、これを補完する仕組みが必要である。

2. 研究の目的

この研究は特に工学の分野において多様で柔軟な教育を実現するために、公教育とは独立にこれを補完する仕組みの可能性を調査する。そのために、可能な教育コンテンツにホロン（全体子）の概念を導入し、ネットワークを利用して自己成長する教育の仕組みを提案する。ホロンとは、自己完結してしかも周囲環境と協調できるような仕組みを有する個の属性を言う。教育コンテンツにホロンの属性を与えて（ホロンコンテンツ）、これをネットワーク上に展開し、ホロン同士の分散協調により、エージェントである学習者は自己の能力向上を高めると共に、教育コンテンツそのものを創り出していくことによって自律性、分散性、自己成長性を実現しようとするものである。

3. 研究の方法

ホロンネットワークの考え方をを用いて、クラウドコンピューティング上へ実装することを試みる。これにより、ホロンの自律性と自己成長能力を用いて、複数の学習者間の知識の共有と自動的なコンテンツの創出、アクセス回数による相互評価（褒められる）を実現するシステムを目指す。

(1) IT 支援教育市場の需要と動向 自己成長型教育システムの動向調査

IT 技術を活用した教育システム全体を長期かつ総合的に見渡し、公教育並びに個人教

育に関する動向調査を行う。

(2) ホロンの構造体とシステム設計

ホロンの自己完結性を実現するために、次の5項組 $H\{M, F, C, S, D\}$ の属性より機能表現を試みる。属性ベクトルは、それぞれ、M: メッセージ, F: 相互作用, C: コンテンツ, S: 検索, D: 破壊, を意味し、メッセージに基づいた相互作用を実現し、ホロンの生成や検索、破壊, を実現するシステム設計を目指す。ホロンの書式はオートマトン表現により記述し、ネットワークはグラフ理論、情報通信はベトリネット形式（離散事象システムの数理モデルの一種）により表記する。各ホロンは生成文法規則に基づいて、新しいホロンを生成する機能を有する。

(3) ホロンネットワーク構築・管理

学習者とホロンとの相互通信を円滑化し、クラウドコンピューティングを実行するために必要となる構造体管理とホロン間の相互作用を構築する。さらに、ホロニック教育システムに自己状態管理能力を付与することにより、オートポイエシスの機能（同種の部分機能の入れ替えの任意性、活動状態の維持機能）を構築する。

(4) 自己成長型教育システムの試験運用

ホロンによるクラウドコンピューティングの通信アクセスを実行し、システムの試験運用を行うとともに、性能の評価を行う。

4. 研究成果

(1) IT 技術を活用した教育システムおよび個別教育に関する動向調査

大学教育の質的転換を図って新たな取り組みが組織的に行われていて着実な成果を上げていることは言を待たないが、各大学の独自性を重視する傾向が強く、教育効果に直接結びつく共通項がまだ見出せないでいる様子がうかがえる。特に IT 技術を利用した全国規模の取り組みはいまだ模索段階と言える。[質の高い大学教育推進プログラム状況調査結果報告書] (2011) (独) 日本学術振興会 大学教育等推進事業委員会]

特に大学においては、工学系ですら教員間の壁が高く授業調整のハードルも高いのが現状である [小方直幸、大学の授業の何が課題か (大学教育マネジメントと革新) 2014]。研究は教育の糧であり、昨今分離

傾向にあるのは大いに問題であるとの懸念がある。[館昭、原理原則を踏まえた大学改革を、2013]

すなわち研究業績に駆り立てられている大学教師に、見るべき後姿がかすんでいると言える。工学系教育に関しては(公)日本工学教育協会が定める教育士(工学・技術)資格(デファクト・スタンダード)があり認定がおこなわれているが、いまだ普及が進んではいない。

とは言え、例えば iTunes U など国内外の大学の授業内容の動画が、限定的ではあるがかなり公開が進んでいるので、基礎的共通科目に関しては、将来は分野ごとに授業の人気競争が進行するかもしれない。そうなれば大学個別の教員の役割に変化が起きる可能性もある。

学部 8 万人、大学院修士 6 千人の学生を擁する放送大学は約 300 の科目を開講し放映している。それぞれの内容は公開を前提にしていることから基本的には秀逸であると言える。個人で自由に聴講できるため、単位取得にこだわらないならば独学の一助となる。協定を結ぶなどした教育機関の教員が周りにいけば新たな機会が開かれる。

一方、主に初中等教育を対象としては、教科書コンテンツに対するデジタル化推進の機運が高まり、2015 年度までに全国の小中学校にタブレット型端末を配布する計画が進められている。[デジタル教科書教材協議会、2010 年発足]、[文部科学省、教育の情報化ビジョン～21 世紀にふさわしい学びと学校の創造を目指して～、2010]

デジタル教材の作成に当たっては iBooks Author などの教科書作成ツールも整備普及が始まった。

映像教材やデジタル教材は、これまでに反転授業において試みが進められ効果が確認されている。また今後特別養護施設や離

島における遠隔教育などにおいて効果が期待されている。

(2) 工学系の大学退任教員へのインタビュー—および最終講義から窺われる学びの動機

現役者を対象とした上記の調査は個別事情のバイアスがかかる可能性があると考え、定年退職者から学びの過程における要点を聞き取り調査した。おおむね共通項と思しき内容は以下の 4 点である。

- 1) 家族・社会の役割：分野を問わず豊富な書籍に囲まれた環境と見守り。
- 2) 教師の力量が非常に高くしかも拘束されなかったことを後年になって理解した。
- 3) 授業とは独立に教科書を読み進めた。興味が原動力であった。
- 4) ノートを取り、まめにまとめる習慣があった。

以上の調査対象は 60 歳代から 80 歳代であるが、情報化社会の現代も共通して語られるべき経験である。しかし学び環境の多様化した今日、普く経験できる状況にはないのが実情であろう。情報技術を教育環境に組み込む必要性と可能性とはここにあるといえる。

(3) ホロンに基づく知識構造の表現

高等教育や生涯教育においては学習時間のうち自学自習の比率が多くを占める。しかしながら、自学自習では知識が断片的になりがちであり、体系的に知識を整理することが難しい。このことが自学自習の非効率性を招いている。一方、断片的な知識の獲得については情報通信技術の発達に伴う Web の普遍化と検索システムの精度向上により劇的に効率が良くなった。すなわち、多数の学習者が WWW で自学自習を行うことで、知識が自動的に構築される基盤は

整ってきた．したがって，Web で参照できる断片的な知識を自動で体系的に構築するための枠組みを確立することで劇的に自学自習の効率を向上できる．以上の考えに基づき，断片的なコンテンツを相互に関連づけることで自己組織的に体系的知識が構築されるシステムを考案した．そのためにまず，学習者や学習支援者および検索システムなどをエージェントとして同一視し，コンテンツ同士の関係をアソシエーションとして表現する．さらにウェブページのリンクや検索結果およびカリキュラムをアソシエーションのリストとして扱うことでやはり同一視し，エージェントの評価や新しいアソシエーションの生成によって知識構造を表現する枠組みを提案した（図1）．

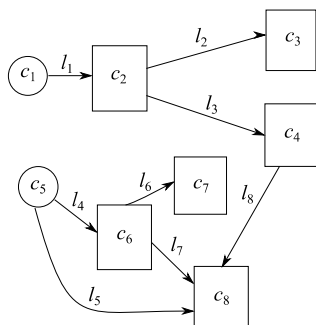


図1 知識構造の例（エージェントによるアソシエーション l_i とコンテンツ c_j からなる）

また，学習者エージェントによるコンテンツの再帰的な探索行動をモデル化するために探索空間をペトリネットで表現した．具体的には，探索空間上の知識をプレースとし，それを元に行われる再帰的な探索をトランジションとして，学習者エージェントが探索しようとする知識および前提知識をトークン分布として与えることで探索行動をシミュレートできる仕組みを考案した．特に，前提知識を適切に与えることでシステムの発散を防ぐオートポイエシスの機能が構築されている．さらに，循環参照等に対処するために探索を打ち切る条件を評価アルゴリズムとして実装している．

以上の構成要素とホロンの構造体 $H\{M,$

$F, C, S, D\}$ との対応関係は次の通りである．

- アソシエーション.....M:メッセージに基づいた F: 相互作用
- コンテンツ.....C:コンテンツ
- トランジション.....S:検索
- 探索の打ち切り：D:破壊

(4) 自己成長型教育システムの構築

以上の手続きで構築された知識表現に基づき断片的な知識同士の連関を可視化し，操作するためのデータ構造とユーザインタフェースを設計および実装した．具体的には，知識構造を操作できるユーザインタフェースアプリケーション（図2）と，知識構造の可視化のための仮想空間（以下，ホロン空間）内を探索できるビジュアライザを実装した（図3）．

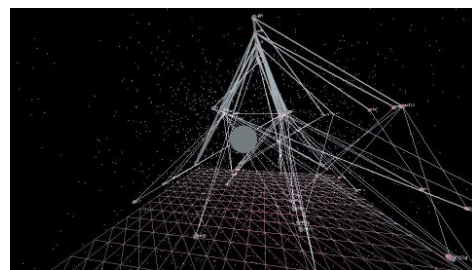


図3 3次元空間探索のためのビジュアライザ

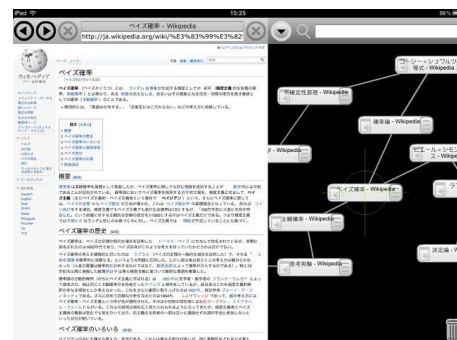


図2 ユーザインタフェースの外観

次にコンテンツの相互関係をホロン空間上で構築する手続きを示す．まず学習者エージェントとコンテンツとに，それぞれ学習フェーズのパラメータを新たに導入した．これは，まず学習者エージェントについては，学習テーマ毎の学習の進捗状況を示す量である．またコンテンツについては，ど

の学習フェーズにある学習者に適した教材であるかを示す量になる．そして、学習者によるコンテンツの閲覧履歴から、対応分析を用いて学習者エージェントとコンテンツとのそれぞれの学習フェーズを推定し、ホロン空間上にコンテンツを配置するアルゴリズムを考案した．すなわち、学習者が閲覧しているコンテンツに基づいて、その学習者の学習の進捗状況（学習フェーズ）を推定し、それに対応するホロン空間上の座標を基にして適したコンテンツを学習者に示すことが可能になった．

(5) 自己成長型教育システムの実証試験

電気通信大学の「メカトロニクス基礎」の講義を受講している学生 8 名の協力の下、その講義で取り扱っているテーマの一つである「オペアンプ」について学習するタスクについて、本課題で開発したアプリケーションで閲覧履歴を収集した．そして 2 名以上が閲覧した 37 のコンテンツを対象に分析を行った．図 4 に結果を示す．

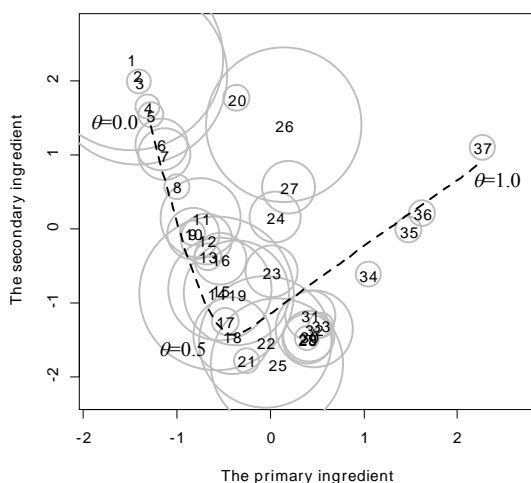


図 4 コンテンツと学習フェーズの相互関係
ホロン空間の次元は 2 で、数字は各コン

텐츠に振った通し番号であり、別表の「第 1 主成分でソートしたコンテンツの見出し語一覧」に詳細を示している．また数字を中心とする円で、閲覧者数の多さを示している．破線で示したのは学習フェーズ θ を媒介変数として対応する座標をプロットしたものであり、ここでは主曲線と呼ぶ．対応する学習フェーズで閲覧されやすい典型的なコンテンツが主曲線上に並ぶ．

なお、学習フェーズ θ が小さいとき、すなわち学習の初期において「[1] オペアンプ - Google 検索」および「[2] 電子回路 - Wikipedia」が多く閲覧されている．すなわち自学自習は、まずキーワードの検索および関連項目の閲覧から始まる．一方、学習フェーズ θ が大きいときに閲覧されるコンテンツで特に多く参照されているものはない．なお最も対応する θ が大きいのは「[37] 同期信号除去比 - Wikipedia」である．これはオペアンプを差動増幅回路として用いたときの特性を示す量であるが、学習の初期では参照されていないことから、このようなコンテンツが学習フェーズの進み具合の一つの指標となることが分かる．一方、「[26] オペアンプ 仕組み - Google 検索」は、多くの学習者から閲覧されているが、主曲線から離れていることから、特に決まった学習フェーズで参照されるものではないことが分かる．

中程度の学習フェーズに対応するコンテンツに着目すると、「[14] 電界効果トランジスタ - Wikipedia」「[15] 増幅回路 - Wikipedia」「[22] コンパレータ - Wikipedia」などがあり、動作原理や機能についての詳

第 1 主成分でソートしたコンテンツの見出し語一覧

- | | | |
|--|--|--|
| [1] オペアンプ - Google 検索 | [15] 増幅回路 - Wikipedia | [28] オペアンプの原理について知りたいのですが、わかりやすいサイトを見つけることが... - Yahoo!知恵袋 |
| [2] 電子回路 - Wikipedia | [16] オペアンプの原理と基礎 | [29] A/D変換 - Google 検索 |
| [3] オペアンプ - Wikipedia | [17] オペアンプ 原理 - Google 検索 | [30] 分圧回路 - Wikipedia |
| [4] トランジスタ - Wikipedia | [18] アナログ回路の基礎 | [31] アナログ-デジタル変換回路 - Wikipedia |
| [5] 増幅回路 - Google 検索 | [19] オペアンプ自体の原理を教えてください。 物理学のQ&A【OKWave】 | [32] 電子工作の知恵袋 > オペアンプの基本 その 2 特性 |
| [6] フィードバック - Wikipedia | [20] バイポーラトランジスタ - Wikipedia | [33] 入力インピーダンス - Wikipedia |
| [7] 集積回路 - Wikipedia | [21] 積分回路 - Wikipedia | [34] 利得 (電気工学) - Wikipedia |
| [8] 増幅回路の動作原理 - わかりやすい! 入門サイト | [22] コンパレータ - Wikipedia | [35] 差動増幅器 エヌエフ回路設計ブロック |
| [9] 電子工作の知恵袋 > オペアンプの基本 その 1 オペアンプとは何か | [23] 電子設計の基本と応用がわかる - EDN Japan | [36] 電験問題「オペアンプの仕組み」 音声付き電気技術解説講座 公益社団法人 日本電気技術者協会 |
| [10] オペアンプ原理 - Google 検索 | [24] 差動増幅回路 - Google 検索 | [37] 同相信号除去比 - Wikipedia |
| [11] 微分回路 - Wikipedia | [25] オペアンプ 回路 - Google 検索 | |
| [12] 差動増幅回路 - Wikipedia | [26] オペアンプ 仕組み - Google 検索 | |
| [14] 電界効果トランジスタ - Wikipedia | [27] MOSFET - Wikipedia | |

細を調べている。一方、「[25] オペアンプ回路 - Google 検索」も中程度の学習フェーズで多く参照されている。このような、学習中のテーマにキーワードをさらに加えて検索する行動は、他に 10, 26 でも見られる。

以上のように、ホロン空間における主曲線との関係から、各学習フェーズで特徴的な探索行動を見出すことができる。これは、学習者の学習フェーズの進み具合に応じた支援のために重要な指標となる。

ところで、前述のようにアソシエーションのリストはコンテンツの1つであるから、以上の手続きで構築されたホロン空間は、自己成長型教育システムがエージェントとなり、テーマ X(これもコンテンツである)とのアソシエーションを持って新たに生成されたコンテンツとなる。すなわち、このシステムはエージェントの自律分散的な振る舞いから新たなコンテンツを生成する自己成長能力を有していると思わせる。

(6) デジタルコンテンツを用いた教育システムの課題

デジタル情報技術の教育への参入は世界的なレベルで浸透しつつある。現段階での問題点を以下に述べる。

1) デジタル教材を利用する学習者は情報端末としてノートパソコンやタブレット端末を用いているが、一般的に画面が小さく、複数画面を同時に開くことは実用的ではなく制限が大きい。したがって現段階では、あるいは将来にわたって紙ベースの教材やノートなどは併用されることになる。アナログデータを含むこれらのリンクを容易にすることが課題である。

2) 個人の生涯学習を支えるためには長年にわたる個人データの保管運用が必要である。ソフトウェアを含めた情報機器の改変・バージョンアップへの対応を個人の労

力と力量に委ねている現状は打開されねばならない。ウィルス対策も含めてこの点に関するインフラストラクチャーの構築が必要である。

謝辞 本研究の遂行に当たり、森下壮一郎氏(電気通信大学 脳科学ライフサポート研究センター)および布山陽介氏(電気通信大学 情報理工学研究科)の多大なご支援を得ました。記して感謝申し上げます。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 3 件)

森下壮一郎、毛利尚武、矢野真和、横井浩史、自己成長型システムのための端末アプリケーションの開発

インターフェースおよびデータ構造の検討 計測自動制御学会, 第 24 回自立分散システムシンポジウム

2012 年 1 月 27 - 28 日 神戸

森下壮一郎、毛利尚武、矢野真和、横井浩史、自己成長型システムのための端末アプリケーションの開発 階層構造の構築および可視化 計測自動制御学会, 第 25 回自立分散システムシンポジウム

2013 年 1 月 25 - 26 日 仙台

森下壮一郎、毛利尚武、矢野真和、横井浩史、自己成長型システムのための端末アプリケーションの開発 マルチユーザ化およびコンテンツ評価機構の実装

計測自動制御学会, 第 26 回自立分散システムシンポジウム

2014 年 1 月 23 - 24 日 東京 pp. 45 - 48

6. 研究組織

(1) 研究代表者

毛利尚武 (MOHRI, Naotake)

研究者番号: 90126186

(2) 研究分担者

矢野真和 (YANO, Masakazu)

研究者番号: 30016521

(3) 研究分担者

横井浩史 (YOKOI, Hiroshi)

研究者番号: 90271634