

特集論文

AIフロンティア論文

創造的情報創出のための ナレッジインタラクションデザイン

Knowledge Interaction Design for Creative Knowledge Work

中小路 久美代 東京大学先端科学技術研究センター
Kumiyo Nakakoji Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo
kumiyo@kid.rcast.u-tokyo.ac.jp

山本 恭裕 東京大学先端科学技術研究センター
Yasuhiro Yamamoto Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo
yxy@computer.org

keywords: creative knowledge work, early stages of information design, human-computer interaction design, cognitive tools

Summary

This paper describes our approach for the development of application systems for creative knowledge work, particularly for early stages of information design tasks. Being a cognitive tool serving as a means of externalization, an application system affects how the user is engaged in the creative process through its visual interaction design. Knowledge interaction design described in this paper is a framework where a set of application systems for different information design domains are developed based on an interaction model, which is designed for a particular model of a thinking process. We have developed two sets of application systems using the knowledge interaction design framework: one includes systems for linear information design, such as writing, movie-editing, and video-analysis; the other includes systems for network information design, such as file-system navigation and hypertext authoring. Our experience shows that the resulting systems encourage users to follow a certain cognitive path through graceful user experience.

1. はじめに

本論では、情報創出活動の、特に初期段階のための道具としてのアプリケーションシステムはどうあるべきか、そしてどのようにそのシステムを構築すべきかについて論じる。我々のアプローチは、システムに要求される機能の同定という視点からではなく、システムが可能にするユーザの経験のデザインという視点から、アプリケーションシステムの構築をおこなうというものである。

本論で述べる「情報創出」とは、フォームを有する情報を構築することを指す。たとえば、論文執筆や、分析レポートの作成、ウェブサイトのデザインやムービー編集作業などである。本研究で着目している「創造的情報創出」とは、もやもやとしたゴールや意図を基に、具体的に何をどう創出するかという具体的なプランがない状態から開始し、漸次的に情報の断片を構築していきながら、何を情報として創出するかと、要求されるフォームとしてどう表現するかとを、同時並行的に同定していく作業を指す。すなわち ill-defined なデザイン作業である [Simon 96, Winograd, Flores 86]。本論では、内容が与えられてそれをフォームに変換するような定型的な情報

創出作業、例えば与えられたブレインなテキストを決められた書式にフォーマットする作業や、音声データをスクリプトとして記述する作業、回収したレシートを集計し出納帳を作成する作業などは、創造的情報創出活動には含めないものとする。

既存の情報創出のためのアプリケーションシステムの多くは、最終的なフォームを表現することを主目的として構築されている。たとえば、多くの WYSIWYG (What You See Is What You Get) 型ワープロソフトでは、最終的なドキュメントがどのような形態になるかを常にユーザが見てとることができるようになっている。しかしながら、どのような思考過程を経て情報創出をおこなっていきたいか、という観点からその表現形態がデザインされているものは、ほとんど見られない。

情報創出の、特に初期段階の過程においては、ユーザは、創出しつつある情報を常に最終的な形態でのみ見ていたいわけではない。多くの建築デザイナーは、CAD システムは最終的なデザイン案を清書するためのツールとしてのみ利用し、実際にデザインをおこなう際にはスケッチを利用している [Lawson 94]。スケッチという表現形態と、紙と鉛筆とが可能とする操作性とが、デザイナーの

創造的思考を促す要因として作用していると考えられている [Arnheim 69]。同様に、論文を執筆する際にも、動画を編集する際にも、最終的な成果物の表現のみでなく、その創出過程において人間の創造的思考を阻害することなく促すような、表現形態と操作性とを提供するアプリケーションシステムが求められる。

我々はこれまで、アプリケーションシステムを創造的情報創出をおこなう際の外在化の手段としてみなし研究をおこなってきた [山本 01, Yamamoto, Nakakoji, Aoki 02b]。外在化の手段としてのアプリケーションシステムは、それを利用して情報創出をおこなうユーザにとっては、<表現>と<操作>という二つの側面を規定する認知的道具 [Norman 93] とみなすことができる。ここで<表現>とは、何を表せるか、何を見ることができるかを、<操作>とは、それをどう表出できるか、どう見ることができるか、を指す。問題解決過程において、何をどう表出し何をどういう風に見てとることができるのかによって、ユーザの思考過程が影響を受ける [Zhang 97, Shirouzu, Miyake, Masukawa 02]。そのため、創造的情報創出のためのアプリケーションシステムは、ユーザがどのような思考過程を経て情報創出に携わりたいか、という理解のもとに、その表現形態と操作系とがデザインされている必要がある [Cooper 99]。

このような課題に対して我々は、創造的情報創出のためのアプリケーションシステムに求められる要件について考察し、そのようなアプリケーションシステムを開発するための、ナレッジインタラクションデザインという枠組みを構築してきている。ナレッジインタラクションデザインの枠組みでは、ある種の情報創出行為に共通する思考と行為の過程をモデル化しながら、それに沿うインタラクションのモデルを作成する。そして、そのインタラクションモデルを、各々の情報ドメインに適用しアプリケーションシステムを構築するというものである。個々のドメイン毎にアプリケーションシステムのインタラクションデザインを考えるのではなく、あるインタラクションモデルに基づき複数のアプリケーションシステムを構築するという点で特徴がある。

これまでに、ナレッジインタラクションデザインの枠組みに基づき二種類のアプリケーションシステム群を構築してきている。第一のアプリケーション群は、テキスト編集、ムービー編集、ビデオデータ分析、という線形情報の創出に、空間配置を利用したインタラクションモデルを用いたものである。第二のアプリケーション群は、ファイル構造のナビゲーションおよびハイパーテキストオーサリングというネットワーク構造情報創出に、三つのカラムを利用したインタラクションモデルを適用したものである。これらの構築されたアプリケーションシステムを利用するユーザは、基となっているモデルに沿った思考と行為の過程を経験し易くなる。この結果、システムを使うことによる思考の阻害が軽減され、創造的な

思考プロセスが促進されると我々は考えている。

以下2章では、創造的情報創出をデザイン活動としてみなし、創造的情報創出における外在化表現と外在化行為の役割とその重要性について述べる。3章では、創造的な情報創出作業のためのアプリケーションシステムにおけるインタラクションデザインの役割について述べ、そのようなシステムを開発するために我々が構築してきているナレッジインタラクションデザインという枠組みについて説明する。4章では、実施した二種類のアプリケーションシステム群開発プロジェクトを事例として紹介し、提案する枠組みについて検討をおこなう。5章では、我々のアプローチについて、アプリケーションシステムの在り方とシステムの美的側面という二点から、本プロジェクトの示唆するところについて考察をおこない、本論を結ぶ。

2. 創造的情報創出のための外在化

2.1 デザインと外在化

創造的情報創出は、以下のような特徴を有する ill-defined なデザイン作業である [Simon 96, Winograd, Flores 86]。

- 作業開始時には何を創出するか、という仕様は明確でなく、もやもやとしたゴールがあるのみである。
- 創出した結果の情報は、あるフォームや制約に従う必要がある。
- 出来上がったことを判断するための明確なルールや判定基準はなく、情報の作成者または第三者が完了とみなした時点で終了となる。
- 作りつつある情報が、より好ましい方向に向かっているのか否かを創出過程において判断する明確なルールが存在しない。
- 情報を部分的に表出しそれを内省することで、創出する情報の内容とその形態に対する理解とが漸次的に深まっていく。
- 情報創出の行為と内省とを試行錯誤的におこないながら、作業を進めていく。

Ill-defined な問題解決作業において、外在化表現が認知システムに果たす役割についてはこれまでも多くの研究結果が報告されている。どのような外在化表現を用いるかによって問題解決能力に差異が生じ [Zhang 97]、問題解決戦略も異なってくる [Shirouzu, Miyake, Masukawa 02]。外在化表現の中でも、特に図形表現は外部認知 (external cognition) として有効に作用するとされている [Scaife, Rogers 96]。外在化をおこなうことで、メンタルイメージの客観的内省が可能となり、認知的負荷が軽減される [Bruner 96]。

中でもスケッチは、創造的設計作業の、特に初期段階において、重要な役割を果たすことが知られている [Arnheim 69, Lawson 94, Gross, Do 96]。スケッチ表現を利用するデザイナーは、表現から単に視覚刺激を受取るのみ

でなく、能動的に意味を見出す [Arnheim 69]。諏訪らは、デザイナーがスケッチ表現を見ながら建設的に多様な意味を産み出す過程を *constructive perception* と呼び、これが、創造的思考の原動力であるとしている [Suwa 02]。このような能動的な意味づけが可能となるのは、手描きスケッチが、そのシンボル性、コンテキスト、関連性という側面において、曖昧性を包含しているためである [Gaver, Beaver, Benford 03]。この曖昧さを利用してデザイナーは、「大体このあたり」や「こんな感じ」といった様々な程度でのコミットメント（意思決定表明）をおこなうことが可能となる。

デザインにおけるスケッチをはじめとする外在化においては、結果としての表現形態のみでなく、描くという外在化の行為自体がその創造的思考に作用すると考えられる [Nakakoji, Yamamoto 03]。スケッチの過程においては、頭の中にあるメンタルイメージを単に外在化しているだけではない [Goldschmidt 99]。明確なイメージが必ずしも存在しない状態で、まず手が動き、紙の上に線が描き出される。そこから得られる外在化表現を「見る」ことによって、何を描きたいか、という内省が進む。Schoen はこのような外在化行為における内省を *Reflection-in-Action* と呼び、*Reflection-on-Action* (外在化した結果を内省すること) と区別している [Schoen 83]。

外在化の行為自体が創造的思考に重要であることは、外在化の際に用いる紙や鉛筆といった道具が思考に影響を及ぼすことにつながる。デザイナーが A3 の紙と B4 の鉛筆にこだわる [Lawson 94] のは、視野角に一度に収まり必ず紙面全体を見渡せる紙の大きさと、B4 という芯の堅さから伝わる手へのフィードバック、線描行為における触感、そしてその行為により表出される線の太さ、といった外在化手段が、デザイナーの創造的思考に影響を及ぼすためであると考えられる。

2.2 創造的情報創出のための外在化

我々は、創造的に情報創出を進めていくための外在化表現として、〈解〉に相当する、構築すべき情報そのもののみならず、それを構築しているコンテキスト、つまり〈問題〉を表現するための表現が必要であると考えている。その際には、作りつつある個々の〈部分〉と、それが構成しつつある〈全体〉の両方とが常に見えている必要がある。

Ill-defined な創造的デザイン作業においては、〈問題〉と〈解〉とが相互依存し、相互発展的に成長 (co-evolution) する [Fischer, Nakakoji 94]。何を作るべきかを部分的に理解し、それに基づき、どう作るかが部分的に決まる。その結果を受けて、さらに何を作るべきか、の理解が進む。このようなデザインを進めるにあたっては、〈解〉の外在化表現のみならず、〈問題〉の外在化表現が重要である [Nakakoji, Fischer 95]。〈問題〉についての外在化表現を有することで、作りかけの〈解〉

の断片のみならず、何を創っていくか、という〈問題〉についての内省もおこなうことが可能となるためである。

一方、デザインプロセスを、〈部分〉と〈全体〉とが相互依存的に進化する解釈学的循環のサイクルであるとみなすこともできる [Snodgrass, Coyne 97]。〈全体〉は個々の〈部分〉から構成されるが、個々の〈部分〉として何を作るかは、〈全体〉として何を作りたいかに依存する。

前節で述べたように、外在化の表現と行為とが相互作用的に創造的思考を駆動する。したがって、このような〈解〉と〈問題〉、〈部分〉と〈全体〉の表現形態を外在化する行為は、できるだけ人間にとって負荷が少なく、自在に表出できるような行為で外在化できる必要がある。たとえシステムが線描をおこなえるような機能を提供していたとしても、スケッチ状の線を描くまでにいくつものステップにも渡るメニュー選択をおこなわなければならないとしたら、メニュー選択の行為自体が認知的摩擦となり [Cooper 99]、行為における内省が阻害されてしまう可能性があると考えられる。

このような観点から次章では、〈表現〉と〈操作〉とをデザインすることにより創造的情報創出のためのアプリケーション構築をおこなうための、我々のアプローチについて述べる。

3. ナレッジインタラクションデザイン

前述のように、外在化の手段としてのアプリケーションシステムは、〈表現〉と〈操作〉という二つの側面を規定する認知的道具である。ユーザが、どのような表現とどのような操作を介してシステムとインタラクションをおこなうべきか、という視点からシステムに必要とされる機能とインタフェースについて同定する作業は、HCI (Human-Computer Interaction) 分野においては、「インタラクションデザイン」と呼ばれている。

インタラクションデザインという用語の定義は多様であり、インタラクティブなシステムのデザインを全般的にインタラクションデザインと呼ぶ場合もあれば [Preece, Rogers, Sharp 02]、「振る舞い、機能、情報、そしてそれをユーザにどう見せるか、を選択していくこと」と定義を絞っているものもある [Cooper 99]。本論では、インタラクションデザインを、

「ユーザがどのような思考と行為の過程を経験しながらシステムを利用するのかという視点から、システムの表現系と操作系とを決めていくこと」

を指すものとする。これは、従来の、システムに必要とされる機能をまず同定しそれに対してインタフェースを付加していくというソフトウェア工学的アプローチとは対照的な、システム開発へのアプローチである。

3.1 創造的情報創出のためのインタラクションデザイン

創造的情報創出において、より思考がスムーズに進むような外在化のための手段としてのアプリケーションシステムのインタラクションデザインをおこなうにあたって、鍵となる外在化の要件をまとめると、以下のようになる。

- 曖昧さを表現できる表現系
- <解>と<問題>とを表せる表現系
- 作りかけの<部分>と、できあがりつつある<全体>とを同時に概観できる表現系
- これらを、<直感的に>操作できる操作系

これらの要件は、一つずつの項目が個別に満たされるべきものではなく、相互に依存した、いわば創造的情報創出のためのアプリケーションシステムのインタラクションデザインをおこなう際の、チェックリストとしてみなされるべきものである。

前章で述べたように、様々な視点で柔軟に解釈できる表現形態、すなわち曖昧さを表現することにより、創造的思考を促すための constructive perception を起こし易くすることができる。また、曖昧性を利用して多様なコミットメントの度合いを表現することにより、ill-defined な情報創出過程で生じる試行錯誤的なプロセスを、より進め易くなると考えられる [Terry et al. 04]。

情報創出における<解>とは、最終的に作るべき情報形態を指す。それに対して<問題>とは、解に対するコンテキストである。情報創出においては、<問題>には、満たすべきフォーム上の制約や情報として含むべき項目、ゴール、といった項目が含まれる。情報創出プロセスにおける<解>の表現が、「既にできあがっている部分」を指すとすれば、「まだ足りない部分」は、<問題>として表現できる必要がある。建築設計におけるスケッチは、<解>と<問題>とを融合して提供している表現形態であるといえる。どのような建物の構造にするかを線描で描くこともできれば（<解>の表現）、大体の敷地を四角で囲ったり、何かを建てるべきと思う敷地あたりに大まかな丸印をつけたりすることができる（<問題>の表現）。この場合の丸印は、必ずしも<解>の構成物としての建物を表現しているのではなく、「この辺りに何かが必要となるかもしれない」というコメントを表現していると考えられる。

<部分>と<全体>の概観は、情報創出においては特に重要な課題である。情報創出は、<部分>を構築しその積み重ねによっておこなわれる。たとえトップダウンに全体から作り始めるとしても、情報のコンテンツ自体は<部分>としてボトムアップに表出していく必要がある。実際には、トップダウンプロセスとボトムアッププロセスとは相互に繰り返しながら現れる。その際、各<部分>はどうかつながるか、<部分>が繋がったとすれば<全体>はどうか、といったことを随時内省しながら創造的情報創出がおこなわれる。できあがりつつあ

る<全体>を表現することで、解を構築していく<部分>の意味が決まるという意味では、個々の<部分>が<解>を表現し、<全体>が<問題>を表現すると捉えることもできる。

これらの操作を<直感的に>おこなえるためには、ユーザが、あくまでシステムの操作ではなく表現の操作をおこなっているように感じられるインタラクションを提供する必要がある。ここで重要なのは、必ずしも「直接的に」表現を操作できる必要がある、という訳ではないという点である。ウィンドウの内容をスクロールする際のスクロールバーのように、適切な道具 (instrument) を提供することで、直接操作よりもむしろユーザにとってはわかり易いインタラクションを提供することが可能となる場合もある [Beaudouin-Lafon 00]。

これらのチェックリストから既存の多くの情報創出のためのアプリケーションシステムを考察すると、様々な側面で、これらの要件を満たしていないことがわかる。冒頭でも述べたように、既存の情報創出のためのアプリケーションシステムの多くは、最終的に生成する成果物を表現することをその主な目的として構築されている。しかし、最終的に出来上がるものはあくまでも<解>の表現であり、上記の要件のうちの一部を満たすに過ぎない。例えば、既存のワープロソフトでは、「まだ足りない部分」を表現する方法がないために、空行を数行挿入することによってそれを表す場合がある。しかし、このようにして挿入された空行と、情報表現の一部として必要と判断され挿入された空行との見かけ上の区別が直感的におこなえないために、情報創出者に（どちらの意味で挿入した空行かを記憶し判断するという）認知的な負荷がかかり、創造的な思考を阻害してしまいかねない。また、多くの情報創出のためのアプリケーションシステムにおいては、<解>を表現するためには曖昧性は取り除くべきものとみなされ、様々な程度でコミットメントを表現したり、柔軟に解釈したりすることのできる表現形態が許されていない。曖昧な表現をおこなえない CAD ツールがデザイナーのための創造的情報創出のためには利用できないのと同様に、WYSIWYG タイプの最終成果物の表出を主目的としたツールは、試行錯誤的な創造的情報創出には不適切であると考えられる。

3.2 ナレッジインタラクションデザイン

ナレッジインタラクションデザインは、このような創造的情報創出のための外在化を踏まえたインタラクションデザインをおこないアプリケーションシステムを開発するための我々のアプローチである。提案するナレッジインタラクションデザインの枠組みでは、各々の情報ドメインに適した表現形態を探るのではなく、いくつかの情報ドメインに共通したフォームの特性に着目する。そして、その特性ごとに、情報を創出する際の人間の思考と行為のモデルを構築し、それに沿うインタラクション

のモデルを作成する。

「思考と行為のモデル」とは、ドメイン横断的に共通して認識することのできる、ある粒度での思考と行為のプロセスを、対象とする情報ドメインのメディアの種類とは独立して汎用的に表現したものである。思考と行為のモデルは、たとえば「並べて比較する」「つながりを認識する」「フォーカスを移動する」といった要素から構成される。これらの要素は、<表現>とのインタラクションをおこないながら、意思決定をおこなっていく認知的過程を示すものであり、<表現>をどのように認識し受容するかの粒度までには踏み込まないものとする。たとえば「並べて比較する」という要素は、対象がテキストであれば、テキスト表現を二つ並べてそれぞれを読み、文字単位でどの部分がどう異なるかを認識することを指す場合もあれば、文章の内容比較をおこなうことを指す場合もある。対象が画像であれば、画像を二枚並べて、画像の内容を眺め、描かれているものの違いを見ることもあれば、色彩や明度の違いに着目する場合もある。ナレッジインタラクションデザインにおける思考と行為のモデルは、このようなメディアや認知的着目点の違いには関与せず、あくまでインタラクションデザインのための手段として、人間がどのような表現とのインタラクションを介して思考を進めていくかを表現するためのモデルである。

このような「思考と行為のモデル」に基づいて、インタラクションモデルを構築する。「インタラクションモデル」とは、

- タスクで対象とするオブジェクトを表現する上で必要となる視点の種類と表現の仕方
- ユーザがそれらの表現されたオブジェクトに対しておこなえる操作とその意味解釈
- 視点間での表現間の連携

を記述するものである。

この枠組みにおいては、いくつかの情報創出行為に共通する思考と行為のプロセスを、対象とする情報メディアの種類とは独立してモデル化し、それに合うようなインタラクションモデルの構築をおこない、異なるドメインに適用している点で特徴がある。スケッチという外在化手法が、最終的な解の表現形態に関わりなく、建築設計にも、ファッションデザインにも、ユーザインタフェースデザインにも共通して利用されるように、我々が提案するナレッジインタラクションデザインの枠組みでは、単一のインタラクションのモデルを、文章構築、ムービー編集、動画分析といった異なる情報ドメインに適用する。換言すれば、スケッチという表現形態が存在しないような情報ドメインのために、どのような外在化の表現と行為が適切であるかを、思考と行為のモデルに即してデザインし、それをいくつかのアプリケーションシステムへと適用するものである。

また、我々のアプローチにおいては、ある情報創出ド

メインに対して、唯一最適な思考と行為のモデルの構築は目的とはしていない。個々の人間の思考のパターンや状況の違いにより、いくつもの思考と行為のモデルを構築可能であると考えている。また、それに沿うようなインタラクションモデルも、一つのモデルが正解として導出されるというような類のものではない。後述するように、どのようなデザインの原則を採り入れるかにより、異なるインタラクションモデルが構築され得る。従って、開発するアプリケーションシステムも、その情報創出ドメインについての唯一の解であるとはみなしていない。むしろ、ある種の思考のパターンで情報創出をおこなっていく人や状況に有用となるような、情報創出のためのアプリケーションシステム開発を目指している。これについては、5.1 節でさらに論じる。

4. 事例：ART プロジェクト

本章では、ナレッジインタラクションデザインを实践した二つのプロジェクトを事例として説明する。本論で事例として紹介する ART プロジェクトは、インタラクションデザインをおこなうにあたってのデザインの原則として、ART (Amplifying Representational Talkback) という考え方を採用している [山本 01, Nakakoji et al. 98]。インタラクションデザインにおいては、ベストな解というものは存在せず様々に関連する要因間の関係を明らかにし矛盾する要件の間に優先順位をつける必要がある。そのため、一貫したデザインの原則を適用することが極めて重要となる [Preece, Rogers, Sharp 02]。ART は、[Schoen 83] の<表現されたものからの語りかけ> (a back-talk of the situation) という考え方を基にした概念である [山本 01]。ART プロジェクトは、<表現からの語りかけ>をデザイナーが促進し増幅することができることをインタラクションデザインにおける最重要項目としているプロジェクトである [Nakakoji, Yamamoto, Aoki 02]。

以下に、二つのプロジェクトのそれぞれについて、作成した思考と行為のモデルとそれに沿うインタラクションモデル、そしてそれに基づき開発してきているアプリケーションシステムについて簡単に紹介する。各システムの詳細については、各システムを詳述した文献に委ねる。

4.1 線形情報創出のための思考と行為のモデルとインタラクションモデル

線形情報を創出する際には、線形情報を構成する要素を作成しつつ、それらの要素間の関係を同定したりその要素が全体としてどのような位置にあるかを認識したりしながら、全体を構築していく必要がある。線形情報全体は要素から構成されるが、どのような要素が必要となるかは線形情報全体が目指す方向となる。これらの要素は最終的には線形に並べなければならないという制約が

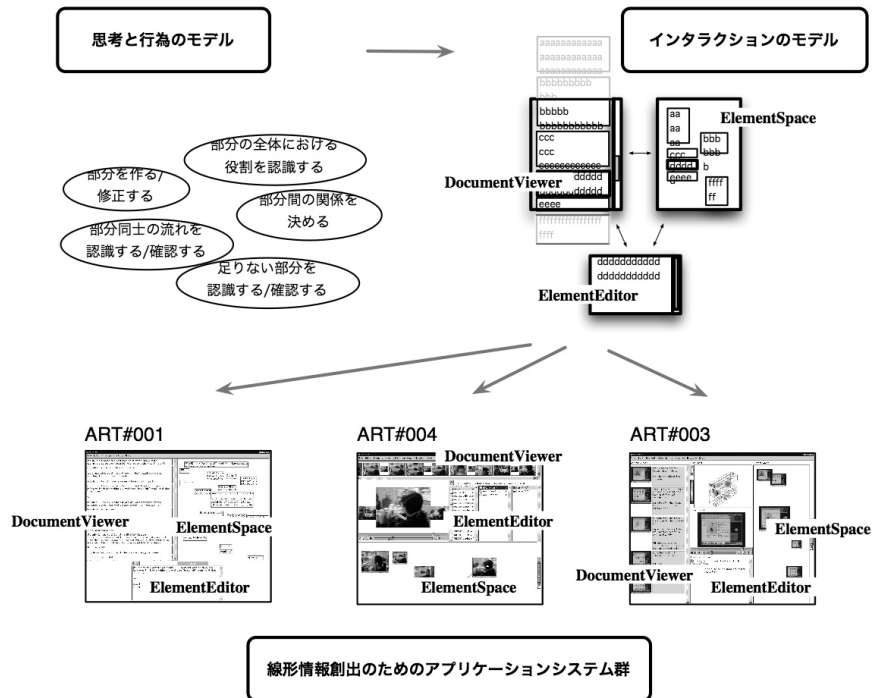


図 1 線形情報創出のためのナレッジインタラクションデザイン

ある。

そこで我々は、線形情報創出をおこなうユーザが、部分を創りつつ線形という制約に必ずしも囚われずに部分と全体を同時に概観することが可能となるようなインタラクションモデルを構築した。

線形情報創出のために、下記の要素からなる思考と行為のモデルを構築した。

- 部分を作る / 修正する
- 部分間の関係を決める
- 部分の全体における役割を認識する
- 部分同士の流れを認識する / 確認する
- 足りない部分を認識する / 確認する

基本的な考え方は、線形情報を、様々な粒度の一塊からなる部分で構成されているとみなし、ユーザが線形情報をその一塊ごとに編集、再編集したり、その順序や全体に対する置き場所を <直感的に> 操作したりできるようにするというものである。

この思考モデルに沿うインタラクションモデルとして、

- (1) 部分を作る場 (ElementEditor)
- (2) 部分間の関係を表す場 (ElementSpace)
- (3) 部分間の流れをみつつ創られつつある線形情報を見ることのできる場 (DocumentViewer)

という三つの視点を提供するコンポーネントから成るモデルを作成した。

このインタラクションモデルでは、ElementEditor で作られた <部分> (以降「エレメント」と呼ぶ) で線形情報を構築していく。線形情報内でのそれぞれのエレメントの線形化の位置情報を、空間 (ElementSpace) 配置で

表現することができる。空間内に配置されたエレメントは、常に一方向 (垂直方向または水平方向) につなげられて、線形化されて表示されている (DocumentViewer)。一方、空間内の線形化に利用されていないもう一方の軸やエレメントのサイズといった表現には、線形化とは無関係な関係としてユーザが意味付けをおこなうことができる。空間内でのエレメントの移動は、リアルタイムで線形化表現に反映され、線形化内での選択は、空間内での選択に反映される。また、空間にはスクロールバーがないものとし、常に空間全体、すなわち配置した全てのエレメントが一瞥できるものとしている。と同時に、エレメントに対する空間の相対的な大きさを自在に変化できるように、zooming-out-by-dragging 機能を取り入れ、空間の枠からはみでるまでエレメントをドラッグしリリースすると、その範囲まで空間がズームアウトするものとする。

このインタラクションのモデルに基づくアプリケーションシステムを、三つの情報ドメインについて構築した。

- ART#001: 文章を創出するためのアプリケーションシステム
- ART#004: ムービー編集するためのアプリケーションシステム
- ART#003: 動画分析結果を記述するためのアプリケーションシステム

図 1 に、これらの関係を示す。

ART#001 [山本, 高田, 中小路 99, Nakakoji et al. 00, Yamamoto, Nakakoji, Aoki 02a] では、ElementEditor 内でテキストをチャンク (エレメント) として生成する。生

成したエレメントは、ElementSpace 内へドラッグ&ドロップすることができる。ElementSpace 内に置かれたエレメントのテキスト内容は、常に上から下へと順に連結されて、DocumentViewer に表示されている。ElementSpace 内でエレメントを選択すると、DocumentViewer 内では対応するエレメント部分へと自動スクロールし選択状態となる。同様に、DocumentViewer 内でエレメントを選択すると、対応するエレメントが ElementSpace 内で選択状態となる。ElementSpace 内でエレメントを移動させると、その上下関係がリアルタイムで反映されて DocumentViewer の内容が更新される。一旦生成されたエレメントは、ElementSpace や DocumentViewer 内で選択して ElementEditor で修正、変更が可能である。また、複数のエレメント同士の結合や、単一エレメントの分割をおこなうことができる。DocumentViewer の内容、すなわち構築されつつある文章は、プレーンテキストとして、または ElementSpace 内の情報を付加した HTML 形式で保存することができる。

ART#004 [Yamamoto, Nakakoji, Aoki 02b] では、ART#001 におけるテキストの代わりにムービー素材を切り取りエレメントとし、それを空間に配置して、素材のどの部分をどういう順序でつなげるか、を編集することができる。ART#004 では、ムービーの線形関係の表現として、空間配置の水平方向の関係をを用いる。そのため、DocumentViewer は上部に、ElementSpace が下部に配置される形となっている。ElementEditor には、それぞれのムービー素材を閲覧し欲しい部分を切り取り易いように、開始フレームや終了フレームを決めるボタンや、元の素材全体をあらわすためのものと切り取った後の部分を表すための二本のムービートラッカーが装備されている [Yamamoto, Aoki, Nakakoji 01]。ElementEditor で切り取られたムービーの部分は、ElementSpace 内にドラッグ&ドロップされると、サムネイル化されエレメントとして配置される。DocumentViewer では、各エレメントは開始時/切り取り時/終了時という三つのフレームから成るアイコンで表示され、ElementSpace 内での水平方向の順序で左から右へと進む動画断片列として並べられている。ART#001 と同様、ElementSpace 内でエレメントを移動すると、その水平順序は DocumentViewer 内の対応するアイコンの順序にリアルタイムで反映される。編集されつつあるムービーは、メニューで駆動するムービープレイヤーで確認したり、新たなムービーとして保存したりすることができる。

ART#003 [Yamamoto, Aoki, Nakakoji 01] は、ビデオを直接編集するのではなく、分析を目的としてビデオデータを閲覧し、重要とみなされたり注意を払うべきと思われるビデオ断片を同定、整理し、保存、共有するためのアプリケーションツールである。ビデオ(ムービー)を閲覧しながら興味のある部分を切り取り空間に配置する部分までは ART#004 と同様であるが、ART#003 で

は、切り取った部分にテキストでアノテーションすることができる。ART#003 では、各エレメントは切り取った動画とそれに付加されたテキストアノテーションの対となる。切り取った動画のサムネイルとテキストアノテーションは、カラム表示されて DocumentViewer にリストされる。DocumentViewer の内容は、HTML 形式で保存することができる。

4.2 ネットワーク構造創出のための思考モデルとインタラクションモデル

ネットワーク構造を創出する際には、どのようなノードが必要かを同定しながら、個々のノードが他のどのノードとどのように関係するべきかを考えていく必要がある。すなわち、線形情報創出においては、上から下または左から右といった一方向の流れに着目し全体の流れと個々の部分間の流れを考える必要があったのに対し、ネットワーク構造では、個々のノードが他のすべてのノードとどのような関係にあるべきかを理解し構築していく必要がある。

そこで我々は、ネットワーク構造創出をおこなうユーザが、各ノードにフォーカスしつつ、そのノードが他のノードとどのような関係があるべきかを理解、構築しながら、フォーカスの移動をより自然におこなえるようなインタラクションモデルを構築した。

ネットワーク構造創出のための思考モデルとして、下記の要素からなる思考と行為のモデルを構築した。

- ノードにフォーカスし、それに関連する他のノードをコンテキストとして利用しながら、フォーカスしているノードを作成/修正/理解する
- フォーカスしたノードと、他のノードとの関係(リンクの有無)を決定/変更する
- コンテキストを成す他のノードにフォーカスを移動する

ネットワーク構造の創出における思考と行為の過程を、一個ずつのノードにフォーカスを当てながらそのノードの意味を理解するとともに、そのノードが他のノードとどのような関係にあるかを決めていく、とモデル化したものである。すなわち、フォーカスしている以外のノードは、フォーカスノードを理解するためのコンテキストとなる。コンテキストを為す他のノードの一つへとフォーカスをシフトしていくことで、先ほどフォーカスしていたものから、部分的なコンテキストを保持したまま、順にフォーカスを移動していくことができる。

この思考と行為のモデルに沿うインタラクションモデルとして、エレメント(本 ART プロジェクトでは情報を構成する部分を一貫してエレメントと呼んでおり、ノードについても以下エレメントと呼ぶ)をリストする三つのカラムから成るモデルを作成した。このインタラクションモデルで想定しているリンクの種類は、有向リンクである。中央のカラムには、フォーカスしたエレメントが

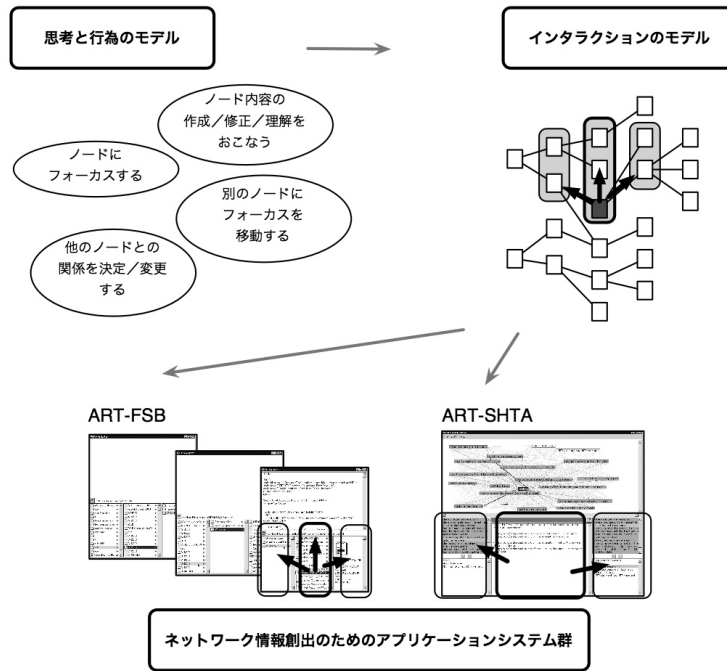


図 2 ネットワーク情報創出のためのナレッジインタラクションデザイン

表示される。左のカラムには、フォーカスしたエレメントを指すエレメントがリスト表示される。右のカラムにはフォーカスしたエレメントが指すエレメントがリスト表示される。右または左側のエレメントリストの中から一つのエレメントを選択することで、フォーカスがそのエレメントにシフトし、そのエレメントが中央カラムに表示される。

この、三つのカラムから成るインタラクションモデルに基づき、アプリケーションシステムを二つの情報ドメインについて構築した。

- ART-FSB(File System Browser): ファイル構造決定システム
- ART-SHTA(Sculptural HyperText Authoring tool): 有向リンクとノードから成るハイパーテキストオーサリングツール

図 2 に、これらの関係を示す。

ART-FSB は、カラム型のファイルブラウザであり、階層構造を成すファイル構造を理解し、ファイルをどこに置くべきかを指定するためのアプリケーションである。フォーカスしたエレメント（ファイルまたはディレクトリ）が中央カラムに表示される。左側のカラムにはその親ディレクトリが、右側のカラムにはその内容（ディレクトリであればその中身、ファイルであればその属性情報）が表示される。Mac OSX やその他のカラム型ファイルブラウザと類似したインタラクションを提供するが、特徴的なのは、フォーカスしたエレメントが必ず中央カラムに表示される点である。たとえば、左側カラムのエレメントを選択（クリック）すると、それが中央カラムに移動して、さらに左側には今フォーカスしたエレメン

トの親ディレクトリの階層が表示される。同様に、右カラムがエレメントリストである場合には、右カラムのエレメントを選択するとそれがフォーカスされ中央カラムに移動し、さらにそのディレクトリ内容もしくはファイルの属性情報が右カラムに表示される。属性情報が表示された状態で右カラムをクリックすると、ファイルの内容が上部ウィンドウに表示されるようになっている。両側のカラムでは、直前にフォーカスのあったファイル/ディレクトリノードが強調表示され、フォーカス移動前のコンテキストが理解できるようになっている。

ART-FSB が、ノードが与えられたときにツリー構造内でそのノードを加えるべき位置を同定することでネットワーク情報創出をおこなうのに対し、ART-SHTA は、ウェブサイトのページ間の関係といった、有向関係のあるノード群自体を構築するためのオーサリングツールである [Yamamoto, Nakakoji, Aoki 03]。下部ウィンドウは三つのカラムから成っており、中央カラムには、フォーカスしているエレメントのタイトルとその内容（現時点ではテキスト情報）が表示されている。左右両側のカラムは上下に分割されており、左カラムの上部には、フォーカスされているエレメントへの入力リンクを有するエレメント群が、下部には、その他の（リンクを有さない）エレメント群がリスト形式で表示されている。右カラムも同様に、フォーカスしているエレメントからの出力リンクを有するエレメント群が上部に、リンクのないエレメント群が下部に表示されている。ユーザは、上下間で各エレメントの移動をおこなうことで、フォーカスしているエレメントとのリンクの有無を指定することができる。右または左カラム内のエレメントを一つ選択すると、

それがフォーカスされた状態となり中央カラムに表示され、左右両側にそれぞれ、そのフォーカスエレメントとリンクを有するエレメントが上部に、有さないエレメントが下部にリスト表示される。

このインタラクションモデルに加えて ART-SHTA では、Spatial Hypertext [Marshall, Shipman 95] および Sculptural Hypertext [Bernstein 01] という二種類のハイパーテキスト技術を使用している。上部ウィンドウには、エレメントのラベルを自由配置できるようになっており、この部分でエレメント間の意味的關係を、漸次的に表現できるような Spatial Hypertext [Marshall, Shipman 95] を可能としている。また、新たなエレメントを作成する際、デフォルトで、すべての他のエレメントとリンクを有する形で作成できるようになっている。この結果、リンクを足していくのではなくリンクを削り取っていくようなハイパーテキストオーサリングの形態が可能となる。これは、Sculptural(彫刻型) Hypertext と呼ばれるハイパーテキスト [Bernstein 2001] の一形態であり、学術的文章構築 (Scholarly Writing) に有効に利用できると考えられる [Yamamoto, Nakakoji, Aoki 03]。

ART-SHTA におけるエレメントとのインタラクションは、リアルタイムで上下双方のウィンドウ内でのエレメントとリンク表現に反映される。下部ウィンドウでフォーカスされ中央カラムに表示されているエレメントは常に上部の空間内でフォーカス表示された状態となっている。両側の各カラムでエレメントを選択すると、それに対応するリンクが上部ウィンドウで強調表現される。上部ウィンドウでエレメントを選択すると、そのエレメントにフォーカスが移り、下部中央カラムに表現される。直前にフォーカスしていたエレメントは、両側のカラムで強調表示される。

4.3 考 察

上述したそれぞれのシステムは、Web 上で ARTware として公開されており^{*1}、各情報ドメインにおける創造的情報創出のための個々のアプリケーションシステムとして利用されている。また、一部のシステムについては、ユーザ観察実験や、視線計測装置を利用して、その有効性を検証してきている [Nakakoji et al. 00]。

しかしながら本論の目的は、これら個々のアプリケーションシステムの有効性を主張することではなく、これらの情報創出のためのアプリケーションシステムを構築するための枠組みとしてのナレッジインタラクションデザインという考え方の有効性を検証することである。上記二つのアプリケーション群の開発を事例として、ナレッジインタラクションデザインの枠組みを適用できたことは、本アプローチの有効性を示すための布石となっていると考えられる。これら二つのプロジェクトでは、インタラクションモデルの導出をおこなうにあたり 3 章で論じ

た創造的情報創出のためのインタラクションデザインを考慮しており、それに基づき構築されているアプリケーションシステムは創造的情報創出のための外在化表現と行為の要件を満たしたものとなっていると考えられる。

たとえば、文章構築をおこなうための ART#001 では、ElementSpace が<問題>を、DocumentViewer が<解>を表現するものとなっている。空間配置における一方向を線形化に用いており、ElementSpace 内でのエレメントをドラッグすると、それがリアルタイムで DocumentViewer 内に反映されることで、<問題>と<解>の表現が統合されている。また、空間配置におけるエレメントのサイズや線形化に利用されていない軸方向の配置は、<解>表現に影響を与えることなく自由に利用が可能のため、曖昧さを表現しつつユーザが自由に意味付けをおこなう<問題>の表現として機能している。実際、これらの様子はユーザ実験でも観察されている [Nakakoji 2000]。ElementSpace にはスクロールバーをつけないことで、創出している情報の<全体>が常に概観可能となる。ART#004 や ART#003 においても同様である。

一方、ハイパーテキストオーサリングをおこなう ART-SHTA では、フォーカスしたエレメントが常に中央カラムに表示され、それとリンクを有するエレメントが左右両側に配置されることで、<部分>と<コンテキスト>とを表現していると考えられる。左右それぞれのカラム内では、リンクを有するエレメントが上方に、有しないエレメントが下方にリストされており、上下を併せるとそれぞれのカラム内でフォーカスしているエレメント以外のすべてのエレメントが表示されていることになる。これにより、構築しているエレメント群<全体>を常に意識しながら、フォーカスしたエレメントの内容の作成や変更が可能となる。

また、ART-SHTA の上部ウィンドウの空間配置をおこなう部分により、曖昧さやコミットメントの程度を自在に表現することができるようになっている。リンクの有無というのはバイナリな表記であり、それを曖昧に表現するために、上部ウィンドウでリンク関係とは独立した位置関係を表示することができる。カラムでのリンク操作は、リアルタイムで空間配置されたエレメント間のリンク描画に反映され、上部ウィンドウが、カラム表示の下部の別なビューを提供することとなっている。また、空間配置部にはすべてのエレメントが表示されているため、構築途中の情報の<全体>といったものを、リンク表現まで含めて概観することができる。

これら二つの事例開発を通して、創造的情報創出のためのアプリケーションを構築するためには、(1) 情報ドメイン毎のチューニングと、(2) アプリケーション開発形態という二点が重要であることがわかってきている。

ナレッジインタラクションデザインの枠組みにおいては、思考と行為のモデルに沿うインタラクションのモデルに基づくアプリケーションシステムを構築するが、最

*1 www.kid.rcast.u-tokyo.ac.jp/systems/ARTware

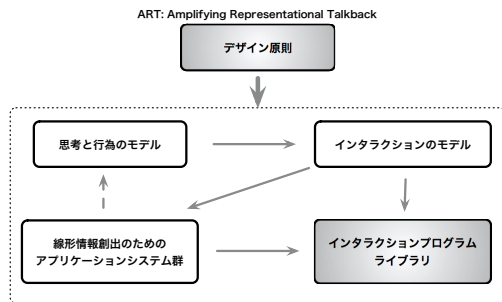


図 3 ナレッジインタラクションデザインを中心としたシステム開発の枠組み

最終的には個々の情報ドメインへのチューニングが非常に重要である。たとえば、ART#001 と ART#004 では、ElementSpace や Document Viewer にエレメントをどう表すかについてのデザイン時の課題が全く異なっている。テキスト表示の際にはその一部を表示するのがよいのか縮小してすべて見せるのがよいのかといった点を、ムービーの断片を表示する際にはどのフレームをどうサムネイルするのがよいのか、他の手法は可能か、といった点を、それぞれ考慮しなければならない。いずれをおこなうにあたって、本プロジェクトでは、ART (Amplifying Representational Talkback) というデザインの原則を第一と考え、いかにユーザにとって直感的に区別、認識し易いか、という基準でデザインが実施された。インタラクションモデルを適用した後に、このような細部に渡るインタラクションデザインのチューニングをおこなわないと、ナレッジインタラクションデザインの枠組みもうまく機能しない。

第二の重要な事項として、アプリケーションシステム開発形態との関連がある。本プロジェクトでは、複数のアプリケーションシステムを、共通したインタラクションモデルに基づき構築するというアプローチにより、アプリケーション開発形態そのものが非常に特徴的なものとなった。図 3 は、ART プロジェクトで実践しているソフトウェア開発形態を表したものである。インタラクションモデルに共通する振る舞いを有するオブジェクトを、3D マルチメディア Smalltalk ライブラリ「じゅん」[Aoki et al. 01] の上にインタラクションライブラリとして作りこみ、そのライブラリを利用してアプリケーションシステムを構築している。空間でのオブジェクトの振るまいの見せ方や、異なるビューでの更新のタイミングなど、実装の観点から共通するオブジェクトをくりっちに作りこみ、それぞれのアプリケーションドメイン毎にチューニングしていくというプログラミング形態が実施されている [青木, 中小路, 山本 03]。

5. 創造的思考のためのツール開発に向けての今後の課題

本章では、本論全体を通じたアプローチを振り返り、アプリケーションシステムの在り方とシステムの美的側面という二つの点について考察する。

5.1 The Best One から A Good One へ

これまでの情報創出のためのアプリケーションシステム研究は、あるタスクに対しての「正解」となるようなシステム構築を目指してきたといえる。ユーザテストをおこない、そのパフォーマンスの平均値をとり、より効率的にタスクがおこなえるシステムがよいシステムであるとみなされてきた。そして、より広範囲なタスクの状況に対処できるよう、より多くの機能が追加されてきた。結果として、アプリケーションシステムの多くは肥大化の一途を辿っているのが現状である。

これに対し本論で主張しているナレッジインタラクションデザインの考え方は、ある思考と行為のモデルを想定し、それに合うインタラクションモデル、そしてそれに基づくアプリケーションシステムを提案するものである。つまり、想定した思考と行為のモデルに沿わない思考過程を取る人や状況には、必ずしも沿わないシステムである。

人間は多種多様な思考経路を有する。自分の考え方、問題の捉え方、ものの見方、に合うようなアプリケーションシステムを利用することが、創造的に思考をめぐらし情報や知識を創出するための基本事項であると我々は考える。その意味で、上記のプロジェクトで開発したシステムが、すべてのユーザの文章執筆活動や、ハイパーテキスト記述活動に適しているとは我々は考えていない。

今後は、誰が利用しても創造的に思考がおこなえるようなツールの開発をめざすのではなく、自分にとって好ましいアプリケーションシステムをユーザが選択し使用することができる必要がある。これにより、ソフトウェア技術も、productivity-driven のフェーズから、appeal-driven のフェーズへと成熟すると見ることができると考えられる [Winograd 95]。

5.2 システムの美的側面

ART#001 を定常的に利用しているユーザからは「使って嬉しい」「使い心地がよい」というコメントが寄せられる。こういったユーザの感じる快適性 (desirability) やツールの美しさ (aesthetics) が、おこなうべきタスクにおける創造的思考に影響することが報告され始めている [Norman 03]。そして、創造的に情報創出をおこなう要因として、いかにタスクに集中でき flow 状態 [Csikszentmihalyi 90] になれるかという側面の重要性が指摘されている [Shneiderman 00]。

Hallnaes らは、システムの美的側面は、主観的なものでなく、意味的な論理の一貫性にあるとしている [Hall-

naes, Redstroem 02]. 我々の ART プロジェクトにおいては、インタラクションモデルに基づきアプリケーションシステムを構築するにあたって、ART (Amplifying Representational Talkback) というデザインの原則に則ることで、論理的な一貫性を保てるようにインタラクションデザインをおこなった。一貫性を失うような機能に関しては、実装上既に可能であったとしても、あえて導入を取りやめることも多々あった。

これまでのシステムは、機能量という側面からその質が判断されてきている。しかしながら今後は、特に創造的情報創出といった分野においては、ユーザに心地良さや嬉しさをもたらすためのシステムの美的側面に着目し、システムが提供するインタラクションの論理的な一貫性といった側面からその質を判断する必要があるであろう。

6. おわりに

本論では、情報創出という、人間の知的活動にとって極めて基本的な活動における創造性のためのアプリケーションシステムに着目し、どのような事項が必要であり、どうやってそのようなアプリケーションシステムを構築すべきかについて論じた。既存の研究の多くは、個別のドメインに特化した仕組み、もしくは、ドメインに関わらない領域での発想支援に留まっている。本論は、複数のドメインに共通し、かつ情報創出という具体的なタスクのためのシステムに必要とされる側面について論じた。今後は、ナレッジインタラクションデザインという枠組みをさらに広く適用し、より多くの事例を収集すると共に、思考のモデル、インタラクションのモデルといったものをリファレンスモデルとして収集、伝播することで、創造的情報創出のためのアプリケーションシステム構築の規範となれればと考えている。

謝 辞

本プロジェクトを推進するにあたり、青木淳氏、Mark Gross 氏、松本健一氏に多大なる貢献を頂いた。この場を借りて感謝の意を表す。なお、本プロジェクトの一部は、科学技術振興事業団さきがけ「情報と知」領域研究および「協調と制御」領域研究による成果を基にしたものである。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Aoki et al. 01] Aoki, A., Hayashi, K., Kishida, K., Nakakoji, K., Nishinaka, Y., Reeves, B., Takashima, A., Yamamoto, Y., A Case Study of the Evolution of Jun: an Object-Oriented Open-Source 3D Multimedia Library, Proceedings of ICSE2001, Toronto, CA., IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA., pp.524-533, May, 2001.
- [青木, 中小路, 山本 03] 青木淳, 中小路久美代, 山本 恭裕, インタラクションプログラミング: インタラクションデザイン駆動型アプリケーションの開発, ソフトウェアシンポジウム 2003, pp.129-138, July, 2003.
- [Arnheim 69] Arnheim, R., Visual Thinking, University of California Press, Berkeley, 1969.
- [Beaudouin-Lafon 00] Beaudouin-Lafon, M. Instrumental Interaction: An Interaction Model for Designing Post-WIMP User Interfaces Proceedings of CHI2000, ACM Press, New York, NY., pp. 446-453, 2000.
- [Bernstein 01] Bernstein, M., Card Shark and Thespis: Exotic Tools for Hypertext Narrative, Proceedings of Hypertext 2001, ACM Press, Aarhus, Denmark, pp.41-50, 2001.
- [Bruner 96] Bruner, J, The Culture of Education, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1996.
- [Cooper 99] Cooper, A., The Inmates are Running the Asylum: Why High-Tech Products Drive Us Crazy and How to Restore the Sanity, SAMS Publishing, 1999.
- [Csikszentmihalyi 90] Csikszentmihalyi, M., Flow: The Psychology of Optimal Experience. Harper Collins Publishers, New York, 1990.
- [Fischer, Nakakoji 94] Fischer, G., Nakakoji, K., Amplifying Designers' Creativity with Domain-Oriented Design Environments, Artificial Intelligence and Creativity, Dartnall, T. (Ed.), Part V, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 343-364, 1994.
- [Gaver, Beaver, Benford 03] Gaver, B., Beaver, J., Benford, S., Ambiguity as a Resource for Design, Proceedings of CHI2003, ACM Press, Ft. Lauderdale, FL., pp.233-240, 2003.
- [Goldschmidt 99] Goldschmidt, G., Design, Encyclopedia of Creativity, Runco, M.A., Pritzker, S.R. (Eds.), Vol.1, Academic Press, San Diego, CA., pp.525-535, 1999.
- [Gross, Do 96] Gross, M.D., Do, E.Y.L., Ambiguous intentions: A paper-like interface for creative design, Proceedings of UIST'96, ACM, pp. 183-192, 1996.
- [Hallnaes, Redstroem 02] Hallnaes, L., Redstroem, J., From Use to Presence: On the Expressions and Aesthetics of Everyday Computational Things, ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol.9, No.2, pp.106-124, June, 2002
- [Lawson 94] Lawson, B., Design in Mind, Architectural Press, MA, 1994.
- [Marshall, Shipman 95] Marshall, C.C., Shipman, F.M., Spatial Hypertext: Designing for Change, Communications of the ACM, pp. 88-97, 1995.
- [Nakakoji, Fischer 95] Nakakoji, K., Fischer, G., Intertwining Knowledge Delivery, Construction, and Elicitation: A Process Model for Human-Computer Collaboration in Design, Knowledge-Based Systems Journal, Vol.8, No.2-3, Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, England, pp. 94-104, 1995.
- [Nakakoji et al. 98] Nakakoji, K., Yamamoto, Y., Suzuki, T., Takada, S., Gross, M.D., Beyond Critiquing: Using Representational Talkback to Elicit Design Intention, Knowledge-Based Systems Journal, Elsevier Science, Amsterdam, Vol.11, No.7-8, pp.457-468, 1998.
- [Nakakoji et al. 00] Nakakoji, K., Yamamoto, Y., Reeves, B.N., Takada, S., Two-Dimensional Positioning as a Means for Reflection in Design, Proceedings of Design of Interactive Systems (DIS'2000), ACM Press, New York, NY, pp.145-154, 2000.
- [Nakakoji, Yamamoto, Aoki 02] Nakakoji, K. Yamamoto, Y., Aoki, A., Third Annual Special Issue on Interface Design, Interactions, ACM Press, Vol.IX.2, pp.99-102, March+April, 2002.
- [Nakakoji, Yamamoto 03] Nakakoji, K., Yamamoto, Y., Toward A Taxonomy of Interaction Design Techniques for Externalizing in Creative Work, Proceedings of HCII2003, Stephanidis, C., Jacko, J. (Eds.), Vol.2, Theory and Practice (Part II), pp.1258-1262, Crete, Greece, June, 2003.
- [Norman 93] Norman, D.A., Things That Make Us Smart. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA, 1993.
- [Norman 03] Norman, D.A., Emotion and Design: Attractive Things Work Better, ACM, Interactions, July+August,

- pp.36-42, 2003.
- [Preece, Rogers, Sharp 02] Preece, J., Rogers, Y., Sharp, H., Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction, John Wiley and Sons, 2002.
- [Scaife, Rogers 96] Scaife, M., Rogers, Y., External Cognition: How do Graphical Representations Work?, International Journal of Human-Computer Studies, no.45, pp.185-213, Academic Press, 1996.
- [Schoen 83] Schoen, D.A., The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action, Basic Books, NY, 1983.
- [Shirouzu, Miyake, Masukawa 02] Shirouzu, H., Miyake, N., Masukawa, H., Cognitively active externalization for situated reflection, Cognitive Science, Vol.26, No.4, pp.469-501, 2002.
- [Shneiderman 00] Shneiderman, B., Creating Creativity: User Interfaces for Supporting Innovation, ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol.7, No.1, pp.114-138, March, 2000.
- [Simon 96] Simon, H.A., The Sciences of the Artificial (Third ed.), The MIT Press, Cambridge, MA, 1996.
- [Snodgrass, Coyne 97] Snodgrass, A.B., Coyne, R.D., Is Designing Hermeneutical?, Architectural Theory Review, Journal of the Department of Architecture, The University of Sydney, pp.65-97, 1997.
- [Suwa 02] Suwa, M., Constructive perception: An expertise to use diagrams for dynamic interactivity, Proceedings of 24th Annual Conference of the Cognitive Science Society, Virginia, USA, p.55, August, 2002.
- [Terry, Mynatt 02] Terry, M., Mynatt, E., Side Views: Persistent, On-Demand Previews for Open-Ended Tasks, Proceedings of UIST 2002, ACM Press, pp.71-80, 2002.
- [Terry et al. 04] Terry, M., Mynatt, E., Nakakoji, K., Yamamoto, Y., Variation in Element and Action: Supporting Simultaneous Development of Alternative Solutions, Proceedings of CHI2004, ACM Press, 2004 (in print).
- [山本, 高田, 中小路 99] 山本 恭裕, 高田 眞吾, 中小路 久美代, Representational Talkback の増幅による「書いてまとめる」プロセスの支援, 人工知能学会論文誌, Vol.14, No.1, pp.82-92, January, 1999.
- [山本 01] 山本 恭裕, 情報創出の初期段階における思考活動のための理論的枠組みとインタラクティブシステム, 博士論文, 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科, Nara, Japan, March, 2001.
- [Yamamoto, Aoki, Nakakoji 01] Yamamoto, Y., Aoki, A., Nakakoji, K., Time-ART: A Tool for Segmenting and Annotating Multimedia Data in Early Stages of Exploratory Analysis, CHI'2001, Extended Abstract, pp.113-114, April 2001.
- [Yamamoto, Nakakoji, Aoki 02a] Yamamoto, Y., Nakakoji, K., Aoki, A., Spatial Hypertext for Linear-Information Authoring: Interaction Design and System Development Based on the ART Design Principle, Proceedings of Hypertext2002, ACM Press, pp.35-44, June, 2002.
- [Yamamoto, Nakakoji, Aoki 02b] Yamamoto, Y., Nakakoji, K., Aoki, A., Visual Interaction Design for Tools to Think with: Interactive Systems for Designing Linear Information, Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI2002), ACM Press, Toronto, Italy, pp.367-372, May, 2002.
- [Yamamoto, Nakakoji, Aoki 03] Yamamoto, Y., Nakakoji, K., Aoki, A., ART-SHTA: A Sculptural Hypertext Authoring Tool for Scholarly Work, Proceedings of the 1st Workshop on Scholarly Hypertext, Hypertext2003, Nottingham, UK, August, 2003.
- [Winograd, Flores 86] Winograd, T., Flores, F., Understanding Computers and Cognition: A New Foundation for Design, Ablex Publishing Corporation, Norwood, NJ, 1986.
- [Winograd 95] Winograd, T., From Programming Environments to Environments for Designing, Communications of the ACM, Vol.38, No.6, pp.65-74, 1995.
- [Zhang 97] Zhang, J., The Nature of External Representa-

tions in Problem Solving, Cognitive Science, Vol.21, No.2, pp.179-217, 1997.

〔担当委員：堀 浩一〕

2003年7月18日 受理

著者紹介



中小路 久美代(正会員)

1986年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業後、SRA入社。1993年米国コロラド大学よりPh.D.取得。1995年より奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科客員助教授。1997年より2000年まで科学技術振興事業団さきがけ「情報と知」領域研究員。2000年より2003年まで同「協調と制御」領域研究員。2002年より東京大学先端科学技術研究センター特任教授。現在に至る。ACM, IEEE-CS, Cognitive Science Society, ソフトウェア学会, 電気通信学会, 日本認知科学会, 日本デザイン学会, ソフトウェア技術者協会等各会員。



山本 恭裕

東京大学先端科学技術研究センター特任研究員。1996年3月京都大学工学部情報工学科卒業。2001年3月奈良先端科学技術大学院大学博士課程修了。博士(工学)。2001年4月から2002年3月まで、日本学術振興会特別研究員(PD)。2002年4月から2003年9月まで、科学技術振興事業団戦略的創造研究推進事業さきがけタイプ「協調と制御」領域グループメンバー。2003年10月より現職。研究分野は、HCI, インタラクションデザイン, インタフェースデザイン, デザインの初期段階の支援。ACM, IEEE Computer Society, 各会員。