

# 設計情報の漸次的構造化を可能とする 概念設計分析ツールの構築

平山 貴浩<sup>†</sup> 蔵川 圭<sup>†</sup>

e-mail:{takahi-h, kurakawa}@is.aist-nara.ac.jp

概念設計を対象とした分析アプローチとして、設計プロセスを表現したモデルに基づき設計議論を構造化し、多様な視点から概観する。本稿では、概念設計の分析を支援するシステムを目的とし、(1)概念設計を対象とした設計議論を効果的に構造化する手法と、(2)構造化した設計議論を様々な角度から分析するための表示方法を提案する。

## A conceptual design analysis tool based on incremental formalization of design information

Takahiro Hirayama<sup>†</sup> Kei Kurakawa<sup>†</sup>

In order to analyze activities in the early stages of design, design arguments should be transcribed in the format that represents a design-solution-refinement process and analyzed from various viewpoints. We propose a conceptual design analysis tool that have two basic functions; (1)the environment that supports a user in incrementally formalizing design arguments, and (2)the function to analyze design arguments from various viewpoints.

### 1. はじめに

製品設計の初期段階では、会社の方針、保有する技術などの分析とともに、製品設計に反映させるユーザーニーズや、関わりのある経済政策や規制といった分析を行い、製品に対して求める役割を明確化し仕様を決める。加えて、決定した仕様を満たす適切な設計解原理を探索し、製品コンセプトを決定する。

今日、製品設計の複雑化、高機能化が進み、設計初期段階での設計活動の重要性は増してきている。この理由として2点挙げることができる。

まず、設計後期に概念の基本的な欠陥を修正することは非常に難しいことがある。設計初期段階で決定された製品コンセプトに基づいて、より後期の実体設計や、詳細設計がなされていく。この実体設計や、詳細設計は、設計初期段階における概念的な決定事項によって制約を

与えられる。従って、設計初期段階の不十分な議論によって、後の工程になってから概念的な決定事項を変更することは、他の多くの決定事項の変更と多大なコストの浪費をもたらす。特に製品が複雑化、多機能化し、設計が複雑化している現在においては尚更のことである。

次に、製品設計において市場ニーズをよりの確に汲み入れる比重が非常に高まったことがある。付加価値のより高い機能を持った競争力ある製品の提案が求められる今日の状況においては、製品のなかに汲み入れられた市場動向を検証し、次世代の製品設計に役立てていく必要が高まってきているからである。

製品設計初期段階で行われる設計活動の比重の高まりに伴い、より効果的に設計初期段階の設計を行う方法が求められるようになってきている。体系的な設計支援方法の確立の為には、対象とされる設計活動の分析を行う必要がある。

製品設計初期の設計活動を分析する為に、設計解の詳細化プロセスを表現したモデルに基づいて、設計初期の概念的な設計活動を構造化し、構造化した設計活動を

<sup>†</sup>奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科  
Graduation School of Information Science,  
Nara Institute of Science and Technology

様々な視点から捉えなおすアプローチが考えられる。

そこで本稿では、概念的な設計活動の分析を支援するシステムとして、(1)分析者がシステムとのインタラクションを通し設計議論の構造化を漸次的に行うシステム、(2)構造化された設計活動を様々な視点から捉える為の表現手法を提案し、その効果について論じる。

以下、本稿では、続く2章において、概念設計を対象とした設計議論の構造化について説明する。概念設計の定義、構造のモデルについて述べる。3章では、本稿で提案する構造化支援システムについて説明を行い、その効果について論じる。4章では、構造化された概念設計を様々な視点から捉えることを可能にする表現手法の説明を行い、その効果について論じる。最後に本稿における結論及び展望について述べる。

## 2. 概念設計を対象とした設計議論の構造化

### 2.1. 概念設計

G. PahlとW. Beitzによって、設計のプロセスは図1に示されるように、基本的な4つのプロセスに分類されている<sup>1)</sup>。本研究では、4つのプロセスのうち、役割の明確化、概念設計の2つのプロセスのうち、役割の明確化、概念設計の2つのプロセスをまとめて、概念設計プロセスと定義する。

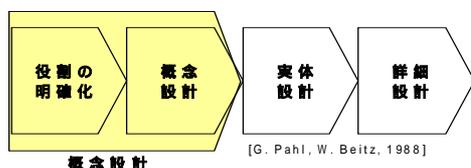


図1：設計プロセス

### 2.2. 設計議論を対象とした構造のモデル

設計特有の視点から設計解の詳細化プロセスを表現したCDS (Conceptual Design grounded by Scenario) モデルを基に、設計議論の構造化作業を進める<sup>2)</sup>。CDSモデルでは、設計議論における設計者の発言を一つの設計情報として捉え、議論のなかで創出される個々の設計情報が互いに関連しあい設計解が詳細化されていくプロセスをモデル化している。設計解の詳細化プロセスを図2右に示す。このモデルでは、設計情報は以下の4種に分類される

- ・ **背景情報**； 問題の定義の段階で参照、及び定義される問題を解くための背景となる情報
- ・ **設計解**； 定義された問題に対しての解となる情報。設計解が詳細化され設計議論が進展する
- ・ **評価結果**； 創出された設計解を対象に評価および決定を行う情報

- ・ **メタ設計**； 設計議論プロセスの管理、制御に関わる情報

このうち上記3つの設計情報は、「設計解」を中心とした「背景情報」と「評価結果」が関連付けられる構造として図2左で示すように表現される。

ここで、設計解にどのように背景情報が関係付けられるのかについて記述する。図2右で示されているような設計解が詳細化される過程では、図2左で示されているように、一つの設計解はさらに具体的な設計解を創出するための問題となり、問題と解が入れ子状になって設計解の詳細化が繰り返される。従って、問題の定義を行う際に創出される背景情報は、問題として扱われる設計解に関連する背景情報としてとらえられる。

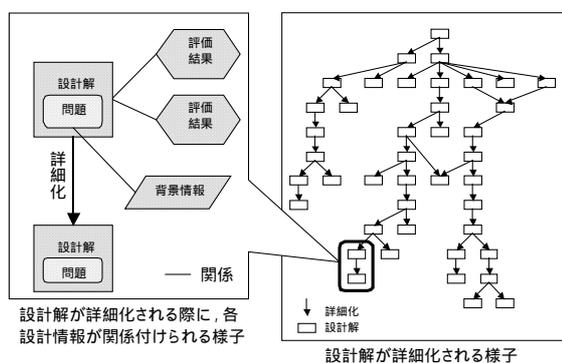


図2：構造化のモデル

簡単な設計議論の一例を対象として、設計議論を構造化した結果を図3に示す。ここで「差別化できる機能は？」という発言はメタ設計に分類されるが、他の設計情報とは関係付けられない。

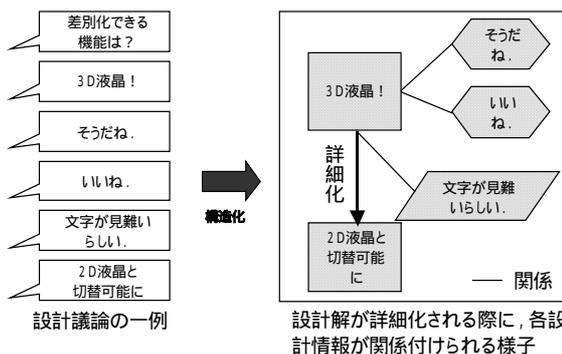


図3：構造化の具体例

## 3. 概念設計を対象とした設計議論の構造化の支援

これまで、ConklinらによるgIBIS<sup>3)</sup>やMarshallらによるAquanet<sup>5)</sup>のように多くのハイパーメディアに関わる研究者によって、対象とする情報の構造を表現するために、ノードとリンクから構成されたハイパーテキスト

表現を用いるアプローチがとられてきた。しかしながら、ノードとリンク構造によるハイパーテキスト表現は、ユーザーが表現しようとする情報が必ずしも明確に意識されていないにも関わらず、システムが規定するモデルに依存した表現に強制してしまうという側面を持っていた。

Shipmanらは、ユーザーによる情報の構造化作業がシステムによって強制されないような手法として、ユーザーの漸次的な構造化を許容する Spatial Hypertext を提案した<sup>6)</sup>。

本研究で提案する構造化支援システムでは、概念設計で行われる設計議論の構造化の為に、漸次的構造化を許容する Spatial Hypertext 表現を利用する。

### 3.1. Spatial Hypertext

Spatial Hypertext は、基本的に二つの表現手法を基に情報を表現する。空間的な表現と、視覚的な表現の2つである。ここで、オブジェクトとは構造化される情報の1単位を指す。

- ・ **空間的表現**； 二次元平面におけるオブジェクトの配置によって、オブジェクト間の関係性を表現する。オブジェクトの移動を容易に行え、表現する関係構造を試行錯誤できる。また、複数のオブジェクトを、二次元平面を持ったコレクション内に配置することで、異なった知覚構造を組み入れた表現を行う(図4)。
- ・ **視覚的表現**； オブジェクトの色や、大きさを変えることにより、オブジェクトに対して、同時に多彩な解釈が可能な視覚的属性をいくつも割り当てることができる(図4)。

空間的表現により、オブジェクト間の曖昧な関係を一時的に表現し、一時的な表現を徐々に明確な表現へ発展させることを支援できる。また、視覚的表現により、解釈した結果を迅速に表現し、新しく表現した情報とのインタラクションを通して解釈を深めることを支援できる。Spatial Hypertext は、この2つの手法を組み合わせ、漸次的構造化を支援する。

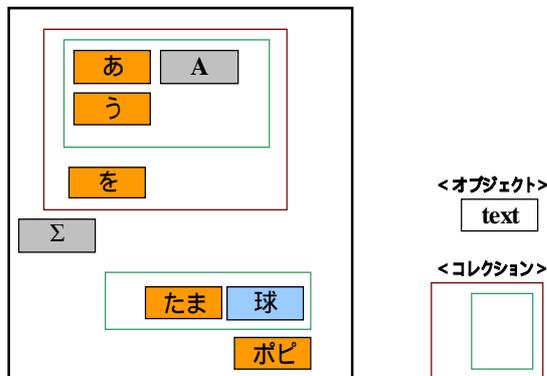


図4 : Spatial Hypertext 表現

### 3.2. ノードとリンク構造を組み入れた漸次的構造化手法

Spatial Hypertext 表現は、ユーザーによる自由な構造化を許容する点で、オブジェクト間の関係構造が曖昧な際にその関係を明示化していくプロセスに対して有効な手段となる。しかし、Spatial Hypertext 表現は、オブジェクト間の関係構造が明らかになった後に、その関係構造を明示的に表現する能力は十分でない。空間配置や視覚的属性による関係の表現は、曖昧さを除去しきれないからである。従って、関係構造を明示的に表現する際には、ノードとリンク構造によるハイパーテキスト表現の利用が望ましいと考えられる。

そこで本研究では、設計議論の構造化の為に、基本的なアプローチとして Spatial Hypertext による漸次的構造化手法を利用する。加えて、関係構造を明示化する仕組みとしてノードとリンク構造によるハイパーテキスト表現の利用を提案する。

### 3.3. 漸次的構造化を支援する枠組み

本研究の提案手法をシステムとして支援する枠組みの構築の為に、本提案手法に基づいて設計議論を漸次的に構造化した作業について、プロセスの分析を行った<sup>7)</sup>。本提案手法に基づいた構造化には、二次元空間におけるオブジェクトの配置や視覚的属性の変更が容易に行え、オブジェクトのグループ化、オブジェクト間のリンクの明示化が行う必要があることから Microsoft 社の Visio2000 を利用した。構造化された設計議論を図5に示す。

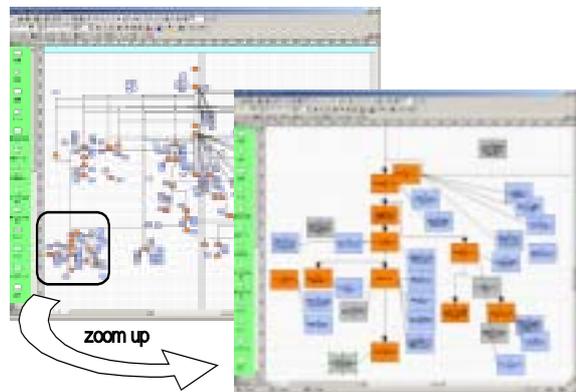


図5 : Visio を用いた設計議論の漸次的構造化

本研究では、漸次的構造化をシステムとして支援する枠組みの構築の為に、Visio に備えられた開発環境を利用する。漸次的構造化プロセスの分析に基づいて、構造化を支援できる枠組みを Visio 上に構築する。

提案する枠組みにおいて提供する機能は、構造化作業の中で繰り返し行われる単純作業や、無駄な労力を要する作業を効率化する機能と、構造化作業の個々のプロセスを支援する機能に大別できる。

### 構造化作業を効率化する機能

漸次的構造化プロセスの分析から、特に、3つの単純作業の繰り返しや、無駄な労力を要する作業を確認できた。作業の効率を高める機能の提案とともに以下に説明する。

#### (a) オブジェクト群の整形, 配列作業

漸次的構造化作業の中で最も多い作業は、オブジェクトの位置の変更である。位置の変更作業は最も頻繁に行われる作業にも関わらず、ほぼ、3つの行為だけに分類することができる。

あるオブジェクトとの関係を表す為に、そのオブジェクト近くに配置する。

あるオブジェクトとの同質性を強調して表現するために、そのオブジェクトと位置を揃えて配置する。

オブジェクト群の見栄えを良くする為に、オブジェクト群全体を整形する

従って、分析者が行いたい作業を予め決定しショートカットキーとして登録しておくことで、分析者の意図を効率的に反映させることが可能になる。

#### (b) オブジェクト間のリンクの明示化作業

オブジェクト間の関係構造が明確になった場合、関係のあるオブジェクト同士が近くに配置されたり、設計情報の分類が色分けされ表現されるなどして、分析者が捉えている関係構造が空間的表現と視覚的表現に反映される。例えば、図6左は、関係構造が明確になった状態を表しており、分析者は、左図の状態から1本ずつリンク付けを行い、同図右のように関係構造を明示化する。ここで行われる作業は、2つのルールの基で自動化することが可能である。

上にある設計解から下側に位置している設計に矢印を引く。

評価結果、背景情報から最も近くにある設計解との間に直線を引く

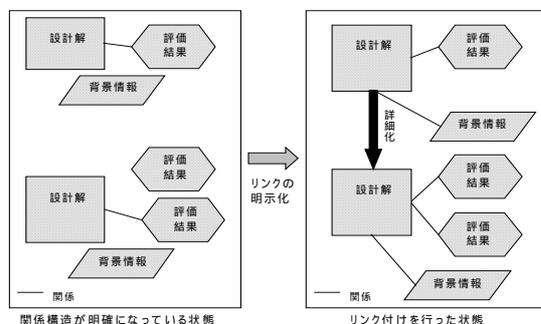


図6：オブジェクト間のリンクの明示化

#### (c) 迷子問題

構造化する設計情報の数が膨大になると、以前に構造化

した内容についての記憶があるにも関わらず、構造化されている場所を思い出しづらくなる。その為、目的の場所を探すという本来の目的から外れた作業をすることになる場合が多い。

構造化している下地に特徴を持たせておくことで、抽象化して捉えられている情報群に対して持っている印象、概念を、下地に対しての位置情報のなかに投影させ易くできる。例えば、図7のなかで、で囲んだ部分を、後で構造を考え直すつもりで、他の作業に移ったとする。右側のように下地に特徴があれば、上から3層目右の方という情報として、作業時の記憶を付加しておくことができる。

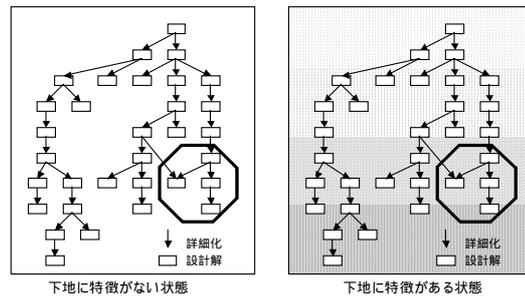


図7：特徴的な下地を利用した作業時の状況マッピング

### 個々のプロセスの支援

漸次的構造化プロセスの分析から、漸次的構造化プロセスをコンテキストの把握プロセスと関係構造の明確化のプロセスに大別した。また、これらのプロセスには、幾つかの特徴的な点が確認された。この特徴に注目し、個々のプロセスを支援する機能を提案する。

#### コンテキストの把握プロセス

- ・ コンテキストの理解の為に、個々の設計情報が創出された時系列順序を保持、提示する。
- ・ 議論の展開の把握に役立つメタ設計を明示的に表示する。

設計情報間の関係構造を明確化していく作業フィールドと別に、設計情報を時系列順が保持されるような作業フィールドを用意することが望ましいと考えられる。加えて、議論の展開を制御するようなメタ設計を明示的に表示できるように、オブジェクトの枠の強調表示や、オブジェクトの大きさを定数倍できるような機能が必要である。

#### 関係構造の明確化プロセス

- ・ 構成要素間の相互作用の理解を容易にする為に、構造化する範囲を限定する。
- ・ 構造化を行う為には、全体を構成する部分についての理解と、各部分相互の関係を表す全体についての理解を容易にする。

上記2点は、ズームイン、ズームアウト機能によって、

目的を達成することが可能である。作業する行為によって、焦点と解像度の選択の組み合わせは限られている。作業に最適な組み合わせを設定し、それを容易に切り替える機能が必要だと考えられる。

#### 4. 構造化された設計情報の多様な表現方法

本研究では、構造化された設計情報を様々な角度から分析する。前章で説明した漸次的構造化システムを使って構造化された設計情報を、多様な表現方法を用いて表示する。具体的には、提案システムにより構造化した設計情報を、XML形式を介し、様々な表現方法で表示する。この様子を図8、図9として示す。

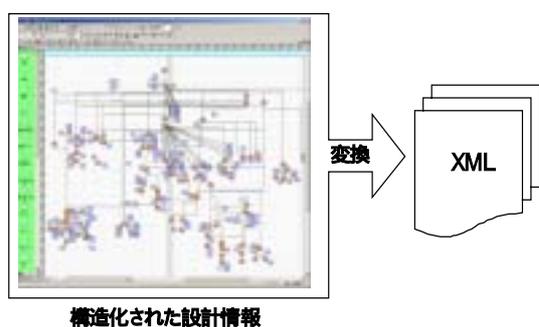


図8：構造化された設計情報のXMLへの変換

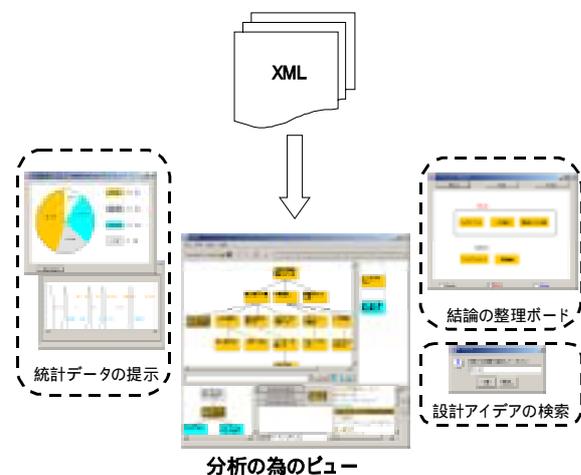


図9：XMLデータから分析する視点に応じて様々な設計情報を抽出する様子

構造化された設計議論を分析する為に、図10で示す分析の為のビューを用いる。このビューは、我々が過去に提案した設計議論支援システム CD-Scenery<sup>®</sup> 9)の基本的な機能を用いた。図10で示す分析ビューを基にして、分析を様々な角度から詳細に進めていく。分析ビューは5つのビューを持つ。5つのビューについて以下説明する。

図10左上の「設計解詳細化ビュー」は、設計解の詳細化過程を抽出し表示する。概念設計を理解するためには、設計解の創出の過程を把握し、設計理由を理解する必要がある。従って、設計解詳細化ビューは、他のビューと比べ比重を高めて配置している。図10左下の「設計情報構造ビュー」は、設計解が詳細化される際に関係付けられる他の各設計情報を表示する。設計理由の把握の為に、設計解の詳細化を促す他の設計情報の関連を理解する必要がある為、設計情報構造ビューを参照する。図10右上の「未構造設計情報ビュー」は、構造が決定されていない設計情報の表示を行う。図10下中の「設計情報ビュー」は、設計情報の詳細な中身を参照できる。図10右下の「設計情報リストビュー」は、設計情報が創出された時系列順を参照できる。



図10：分析ビューアの5つのビュー

上記した分析ビューアに加え、分析を様々な角度から詳細に進めていく手段として、本システムは構造化された概念的な設計活動を3つの尺度から捉える表現手法を提案し、その効果について論じる。

#### 設計プロセスを理解するための統計データの提示

概念設計を対象とした設計議論の構造化を行うことによって、概念設計を対象とした設計活動を、設計情報、背景情報、評価結果、メタ設計という4つの抽出された設計アイデア（設計情報）の集合として捉えることができる。提案するシステムでは、設計アイデア群の統計データを蓄積する。蓄積された統計データから、創出された時間的推移に基づいた各々の設計アイデアの遷移を示す統計データ、全体の中に占める設計情報の割合を示す統計データを抽出、提示する。

#### 創出された時間的推移に基づいた各々の設計アイデアの遷移を示す統計データの利用

設計議論のなかでは、期待している設計解がなかなか創出されない場面もあれば、議論が活性化して設計解の詳細化が一気に進む場面もある。時間的推移に基づいた

統計データと分析ビューアを対比させ概念設計を分析することで、各々4つの設計情報の創出のタイミングが設計プロセスに与える影響について考察できる。

・ **良い概念設計の指針を考察する為の設計情報の統計データの利用**

良い概念設計のひとつの特徴として、後の工程になってから概念的な決定事項の変更を行わずに済む程度に、概念設計の段階で十分な検討がなされている点を挙げることができる。そこで、十分な概念設計の事例について統計データの分析を行うことにより、良い概念設計を満足する目安となる統計データ上の特徴、知見について考察を行うことができる。

**必要な設計アイデアを効率的に抽出し分析する為の機能**

検索エンジンを利用し、膨大な設計アイデアの中から必要な設計アイデアを効率的に抽出する機能を提案する。以下、その効果について論じる。

・ **必要な設計アイデアを効率的に抽出し分析する**

最近の製品設計の複雑化、高度化に伴い、概念設計が行われる時間も長期化している。概念設計が長期化することで、概念設計において創出される設計アイデアの膨大な量になってくる。情報量が多くなると必要な設計アイデアを発見することは困難になる。そこで、着目した設計アイデアについて、検索エンジンを利用し膨大な設計アイデアの中から効率的に抽出することにより、抽出した設計アイデアを中心とした概念設計全体に対して分析を進めていくことができると考えられる。

・ **ボトムアップな設計分析の実現**

設計活動を全体的な視点からでなく、分析者の興味、趣向に依存した個別の着眼点からボトムアップに分析を行うことができる。

・ **過去に設計した内容の再検討**

設計においては、以前に同様の問題に対して設計活動を行っている場合が頻繁に見受けられる。過去に設計した内容の再検討にも非常に有効といえる。

**議論における決定事項を整理、表示する機能**

システムの分析ビュー内のコンポーネントをコピー＆ペーストし、表示することができる結論ボードの機能を提案する。結論ボードでは、コンポーネントの移動操作だけでなく、四角形や、手書き線、文字の表示など自由にアノテーションを行える機能を想定している。以下、その効果について論じる。

分析を行う為には、分析を行う対象を一目で理解できる程度の限られた領域内に整理しておくことが非常に重要となる。例えば、議論中は、重要な決定事項はホワイトボードに書き出されるなどして、アイデアを整理している。また、会議が時間を隔てて行われる場合、以前の会議で決定されたことを紙1枚程度にまとめたものが配

られることが多い。従って、限られた領域内にアイデアをまとめることができる結論ボードを提供する必要性は高いと言える。加えて、整理されたものを分析対象と電子的にリンクさせることで、その有効性を高めることができると考えられる。

**5. 結論と展望**

本稿では、概念設計の分析を支援するために、概念設計を対象とした設計議論を効果的に構造化する手法と、構造化した設計議論を様々な角度から分析するための表示方法を提案した。設計議論の構造化を行う為に、ノードとリンク構造を組み入れた漸次的構造化手法による構造化支援の枠組みを提案し、その効果を論じた。様々な角度からの分析を行う為に、統計データの提示、必要な設計アイデアの効率的な抽出機能、議論の決定事項を整理し表示する機能を提案し、その効果を論じた。

今後は、本稿で提案したシステムを実装、評価し、その有効性について検討する。

**参考文献**

- 1) G. Pahl and W. Beitz, Engineering Design: Systematic Approach. Springer-Verlag, Berlin, 1988. (設計工学研究グループ訳, 『工学設計 -体系的アプローチ-』, 培風館, 1995年)
- 2) K. Kurakawa, "A conceptual design information structure and its formation process based on protocol analysis of the design meeting" 2001 ASME Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, 20th Computers and Information in Engineering Conference, DETC2001/CIE-21226 (CD-ROM), 2001.
- 3) J. Conklin and M. Begeman, gIBIS: A Hypertext Tool for Exploratory Policy Discussion. In Proceedings of the ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work. ACM Press, New York, NY, pp.140-152, 1998
- 4) A. MacLean, R. M. Young, V. M. E. Bellotti, and T. P. Moran, "Questions, options and criteria: Elements of design space analysis," Design Rationale: Concepts, Techniques, and Use, pp.53-105, 1996.
- 5) C.C. Marshall, F. Halasz, R. Rogers and W. Janssen, Aquanet: a hypertext tool to hold your knowledge in place. In Proceedings of ACM Hypertext '91Conference. ACM Press, New York, NY, pp.261-275, 1991
- 6) F. Shipman, H. Heish, R. Airhart, P. Maloor, and J.M. Moore, The Visual Knowledge Builder: A Second Generation Spatial Hypertext, Proceedings of the ACM Conference on Hypertext, pp.113-122, 2001
- 7) 平山貴浩, 蔵川圭, 概念設計分析のための漸次的構造化作業の分析, 情報処理学会研究報告 2002-GN-45, pp125-130, 2002
- 8) 田中洋, 蔵川圭, 中小路久美代, シナリオを考慮した概念設計支援システムの構築, 情報処理学会研究報告, 2002-GN-42, pp.49-54, 2002
- 9) 蔵川圭, 田中洋, 中小路久美代, 製品のシナリオを考慮した協調型概念設計支援, 第 64 回情報処理学会全国大会講演論文集 (4), pp.399-402, March, 2002