

## 概念設計分析のための漸次的構造化作業の分析

平山 貴浩<sup>†</sup> 蔵川 圭<sup>†</sup>

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

設計の初期段階における設計活動を分析する為に、設計議論の内容を、設計解の詳細化プロセスを表現したモデルに基づいて構造化する。しかしながら、議論内容をモデルに従って直に構造化することは安易ではない。議論全体のコンテキストを考慮しながら構造を決定可能な手法が必要である。そこで本稿では、漸次的な構造化を許容する Spatial Hypertext に着目し、設計分析者が設計議論を漸次的に構造化する作業を分析する。分析によって、設計分析者の設計情報の構造化を行うプロセスを解明した上で、Spatial Hypertext 表現における漸次的構造化作業の有効性について検証する。

## An analysis of incrementally formalizing design information toward conceptual design analysis tool

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

In order to analyze activities in the early stages of design, design arguments are transcribed and visualized in the format that represents a design-solution-refinement process. However, it is not easy to structure and visualize the design arguments directly according to the format. Spatial Hypertext can be an available representation to incrementally formalize structure of a design argument so as to reduce formalization efforts. This paper reports an analysis of incremental formalization process with Spatial Hypertext that gives hints to necessary features for conceptual design analysis tools.

### 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する。役割を明確化し、設計解のなかに具現化する要件や要求を決める。要件や要求に関する情報を基に、適切な設計解原理を探索して、製品コンセプトを決定する<sup>1)</sup>。

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。この問題

を最小限に抑えるために、設計初期段階における概念的な決定事項を議論する設計活動は、十分に検討されなければならない。

また、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、製品のなかにどういった市場動向が反映されたかを検証し、次世代の製品設計に役立てていく必要がある点においても、設計初期段階における概念的な設計活動は十分に検討されなければならない。

設計初期段階における設計活動の十分な検討の為に、そこで行われている設計議論を分析、解明することが必要となる。その為のアプローチとして、設計初期段階において行われる設計議論の内容を、設計解の詳細化プロセスを表現したモデルに基づいて構造化する。構造化することにより、設計議論のなかで創出された設計解の設計理由を正確に把握できるようになることや、検討したい設計アイデアを膨大な設計アイデアの中から効率的に抽出して分析できるようになるからである。

しかしながら、議論内容をモデルに従って直に構造化することは、安易ではない<sup>2)</sup>。なぜなら、通常の議論においては、

<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

発言者は、発言内容の議論における位置付けを発言時点においては明確に意識していないからである。ほとんどの場合、議論が進展していきなから、前出された発言内容の議論における位置付けが明確化していく。従って、議論内容をシステム上で議論プロセスのモデルに従いダイレクトに構造化することは、実務上有効だといえない。

デザインラショナルの分野においても、議論支援という目的で、議論内容の構造化というアプローチが、IBIS<sup>3)</sup>やQOC<sup>4)</sup>といった代表的なモデルに基づいてなされてきた。このデザインラショナルの研究においても、モデルに基づいた構造化作業自体に認知的な困難性が伴うことが指摘されている<sup>4)</sup>。

従って、議論全体のコンテキストを考慮しながら構造を漸次的に決定していけるようなシステムが必要である。そこで、漸次的構造化作業を円滑に行えるシステムについての提案を行うために、本稿において、漸次的な構造化を許容する Spatial Hypertext を利用して、設計分析者が設計議論内容を漸次的に構造化するプロセスを説明する。

以下、本稿では、続く2章において、設計議論を対象とした構造化に用いる手法について述べ、3章、4章において、2章で記述された手法に基づいた設計議論の漸次的構造化プロセスについて分析、考察を行う。最後に本稿における結論及び展望について述べる。

## 2. 設計議論を対象とした構造化

### 2.1. 設計議論を対象とした構造化のモデル

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が、図1の右図として示されている。このモデルでは、創出される設計情報は4つの基本的な設計情報に分類される

- ・ **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していく
- ・ **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**； 設計議論のプロセスを管理、制御に関わる情報

このうち上記3つの情報は、“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1の左図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1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1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。

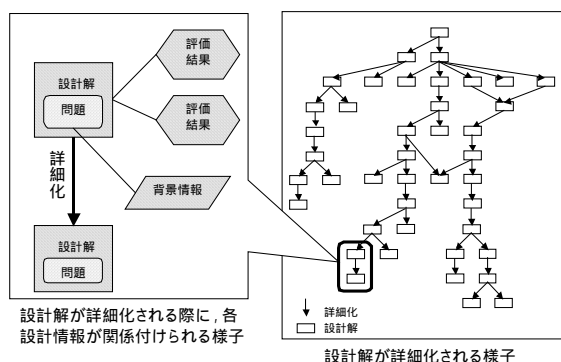


図1：構造化のモデル

### 2.2. 漸次的構造化手法としての Spatial Hypertext

設計分析者による漸次的構造化作業の分析の為に、漸次的構造化を許容する Spatial Hypertext 表現を用いて、設計議論内容を漸次的に構造化する。

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おり、情報を漸次的に表現することには適していなかった。

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>。

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。

- ・ **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を表現する。オブジェクトは容易に動かすことができる。オブジェクトとは、構造化される情報の1単位である(図2)。また、複数のオブジェクトを、二次元平面を持った collection 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2)。
- ・ **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屬性をいくつも割り当てることができる(図2)。

空間的な表現により、ノード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する。また、視覚的な表現により、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する。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 2 : Spatial Hypertext 表現

### 2.3. VKB システムを用いた漸次的構造化作業の検討

Spatial Hypertext 表現を実装する VKB システムを用いて、Spatial Hypertext 表現のみによる設計議論の漸次的構造化作業を行い、Spatial Hypertext 表現のみによる漸次的構造化の実現可能性、有効性について検討した。

Spatial Hypertext 表現は、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が、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ことがわかった。関係構造を明示的に表現するためには、従来までのモデルに依存した構造を強制するような枠組みも必要であることがわかった。

従って、従来型のモデルに依存した構造を強制する枠組みのなかで、Spatial Hypertext 表現を行える環境を提供するツールを利用すれば、設計議論の漸次的構造化を行え、漸次的構造化の作業の分析に用いることができると考えられる。

## 3. 設計議論の漸次的構造化プロセスの分析

VKB システムを用いた漸次的構造化作業の検討を踏まえ、二次元空間におけるオブジェクトの配置や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といった機能を持ったドローイングツールを用いることによって、設計議論の漸次的構造化と構造化作業の分析が可能となる。そこで、本稿では、Visio (Microsoft 社) を利用し、設計議論を対象にした漸次的な構造化作業を進め、漸次的構造化プロセスの分析を行った。ここで、表現される設計情報は、設計議論における設計者の発言をラベル化したものを用い、上記した CDS モデルに基づいて漸次的に構造化する。

以下、3.1 節において漸次的構造化プロセスについての分析結果を記述し、続いて、3.2 節において漸次的構造化プロセスを例示する。

### 3.1. 漸次的構造化プロセス

漸次的な構造化作業は大きく 2 つの段階に分けることができる。議論全体のコンテキストの把握段階と設計情報間の関係の構造化段階の 2 つである。議論全体のコンテキストの把握段階では、(a)設計情報の属性の明確化と(b)議論の展開の明確化の作業が交互に行われ、設計情報間の関係の構造化段階では、(c)部分的な構造の明確化と(d)全体の構造の明確化の作業が交互に行われている。この漸次的構造化プロセスの概観を図 3 として示す。以下、個々の作業について詳細にそのプロセスを説明する。

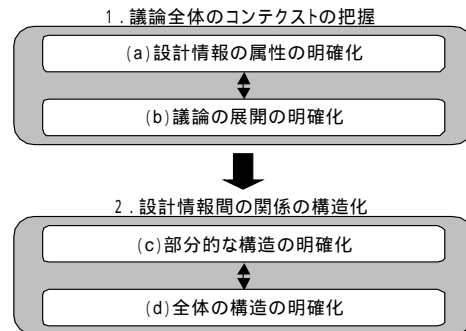


図 3 : 構造化プロセスの概観

#### 3.1.1. コンテキストの把握段階

構造化を行う為には、議論全体のコンテキストを理解し、設計解の詳細化の流れを掴まなければならない。

コンテキストの理解にとって、最も重要な情報は、個々の設計情報がどのような時系列順序で創出されたかを示す情報である。個々の設計情報の位置付けは、その設計情報の前後で創出された設計情報との関連性を通して理解される。従って、コンテキストを把握する段階では、個々の設計情報を創出された時系列順序で並べ、時系列の順は何かしらの形で保持されている必要がある。時系列順序が保持されている状態で漸次的構造化が行われるステップをコンテキストの把握段階と呼ぶ。

##### (a) 設計情報の属性の明確化

設計情報は、CDS モデルに基づいて 4 つの情報に分類する。この分類作業は、以下 3 つのステップを踏み、進められる。図 4 に示されるように、メタ設計は Step1 で判断され、設計解は Step2、背景情報と評価結果は Step3 まで進められ判断される。

**Step1.** 全ての設計情報に対して、設計解に直接関係のある情報であるか否かの判断によって、メタ設計と設計解に関係した情報に分類する。

**Step2.** 設計解に関係のある情報に対して、設計解であるか否かの判断によって、設計解か設計解でない設計解に関する情報に分類する。

**Step3.** 設計解に関する情報に対して、前出された設計解に対しての評価であるか否かの判断によって、評価結果と背景情報に分類する。

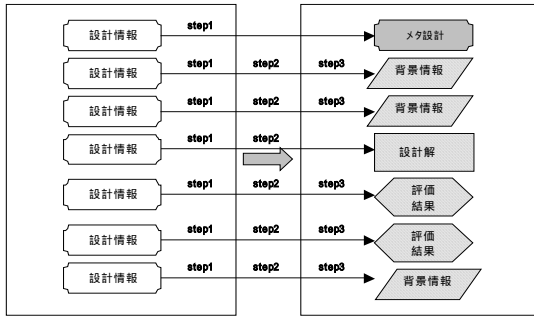


図4：設計議論の属性を明確化するステップ

上記した3つのステップでは、負担のより少ない分類を先に行うこととなる。実際に評価結果、背景情報の判断が、属性の明確化ステップで最も難しい。例えば、背景情報には、既存製品の評価に触れる背景情報がある。既存製品の設計解やその評価は、対象とする設計における設計結果ではないため背景情報に分類される。一見ただけでは評価結果に見え易く、判断に時間を要す。

(b) 議論の展開の明確化

議論の展開を掴むために、以下2つの作業が行われる。

- メタ設計に分類した設計情報のうち、議論の展開を強制する趣旨を持っているメタ設計を、図5右上のようにオブジェクトの大きさを大きくするなどして、明示化する
- 背景情報に分類した設計情報のうち、分類した時点でその背景情報が対象とする設計解が明らかな場合がある。その場合、オブジェクトの時系列の順を保持しながらも、設計解との距離を近づけるなどして、関係の構造の明示化を行う(図5右中)。

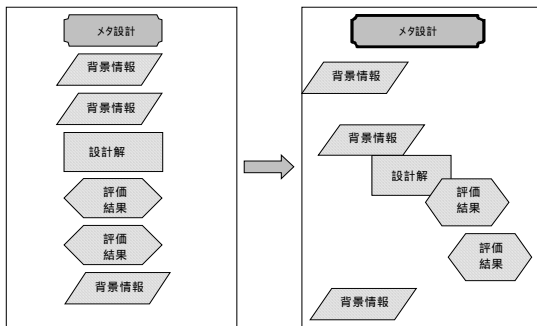


図5：議論の展開を明確化するステップ

設計議論において創出される設計解は、設計の目標から目標に対しての最終的な設計解まで、全てが連続的に導出されているとはいえない。議論の正しい方向性を維持しながら、議論の各部分で、あるまとまった話題に対して集中的な議論を行い、これらを繰り返すなかで、最終的な設計解にまで辿り着いている。正しい方向性を維持するために、メタ設計にあたる設計情報が創出されており、特に、議論の展開を強制する趣旨を持つメタ設計を考慮することによって、議論のコンテキストを掴むことが容易となる。

3.1.2. 関係の構造化段階

コンテキストの把握段階で得られた情報を基に、設計解の詳細化関係を明示化する段階を関係の構造化段階と呼ぶ。

(c) 部分的な構造の明確化

前述したように、議論の進行プロセスを概観すると、設計議論はいくつかの大きな展開に分けることができる。個々の展開において、設計解の詳細化に焦点をあてながら構造化を漸次的に進めていく作業を部分的な構造の明確化と呼び、各ステップを以下に記述する。図6に対応する各ステップを記述した。

- Step1.** 設計解とその設計解を対象とした評価結果とのリンクを結ぶことで、相互の関係を明示化する。
- Step2.** 設計解と設計解に前後して創出されている背景情報について、設計解の詳細化の関係を、設計解同士の関係や、設計解と設計解の創出過程で創出されたと思われる背景情報との関係について考慮し、一定の確信の基に、空間的な表現に投影させる。
- Step3.** 投影した表現に対して再評価を行い、より正しいと思われる表現に変更する。
- Step4.** 設計解の詳細化、設計解とそれを対象とする背景情報との関係について、明示的に構造化を行う。

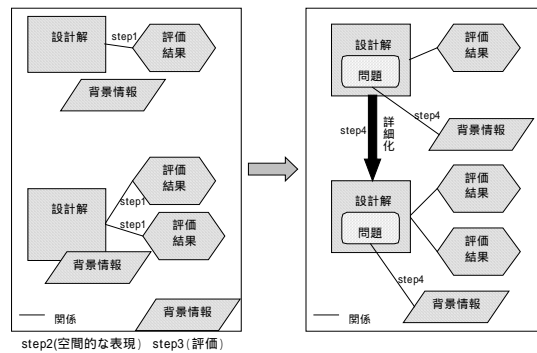


図6：部分的な構造を明確化していくプロセス

部分的に構造化を行う理由は、構造化する範囲を限定することによって考慮すべき構成要素の種類と数を減らすことができ、構成要素間の相互作用の理解が容易になるからである。

また、設計解同士の詳細化関係は、曖昧であることが多い。曖昧な詳細化関係を空間的な表現として投影し、関係を評価、再構成することによって、徐々に関係を明確化させる。

(d) 全体的な構造の明確化

部分的に構造化した設計情報群を、議論全体を考慮して、設計解の詳細化に焦点をあてながら、再構成する作業を全体的な構造の明確化と呼び、各ステップを以下に記述する。図7に対応する各ステップを記述した。

- Step1.** 部分的に構造化した設計情報群を、一つのオブジェクトとして扱われるようにグループ化する。
- Step2.** 議論全体の設計解が詳細化された構造のなかで、グループ化された設計情報群の位置付けを空間的な表現として投影させる。

**Step3.** 投影した表現に対して再評価を行い、より正しいと思われる表現に変更する。

**Step4.** グループ化を解除し、個々の情報に対して全体的な構造との整合性の再評価を行い、より正しいと思われる表現に再構築する。

**Step5.** 設計解の詳細化，設計解とそれを対象とする背景情報との関係について、明示的に構造化を行う。

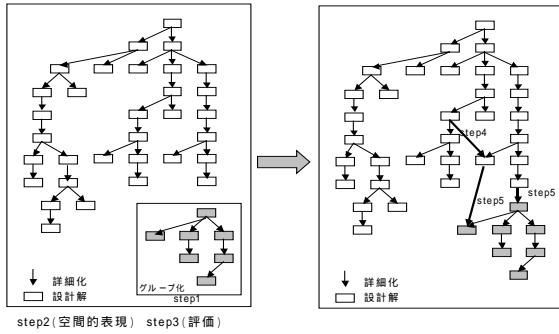


図7：全体的な構造を明確にするプロセス

多くの情報を、小さな意味のある塊（チャンク）にし、チャンクを単位に再び構造化を行うことで、多くの設計情報集合の構造化を可能にしている。

また、議論全体を対象とした構造化作業では、構成要素である部分的に構造化された設計情報群どうしの関係も再構築される。全体を理解する為に、全体を構成する部分についての理解が必要とされる一方で、各部分の理解のためには、各部分相互の関係を表す全体についての理解が必要である。

3.2. 漸次的構造化の実際

上記した漸次的構造化プロセスに対して、以下例証する。構造化した設計議論は、分解性を重視した次世代携帯電話の設計について2回にわたり、約3時間を通して行われた。

第1回目の設計議論において、現状の携帯電話の組立性、分解性についての説明を踏まえた後に、次世代を翌年として、次世代携帯電話のコンセプトについて各自の設計解を創出した。第2回目の設計議論においては、第1回目の設計解を踏まえた上で、制約条件を与え、3年後の次世代携帯電話のコンセプトとして差別化できるような設計解の創出した。創出した設計解のなかで、表示部メモリアップグレード、バックアップ用電池取り外し容易、リユース部品の使用の3つの設計解について設計議論を進め、概念図として書ける程度に設計解を詳細化した。

第2回目の設計議論の中で、バックアップ電池取り外し容易の設計解について、一代替案として電池を使わない構造という設計案が創出され、設計議論が進められた場面があった。以下、この電池を使わない構造という設計案が詳細化される場面に対して、設計議論を漸次的に構造化するプロセスを例示する。この様子を各段階ごと図8から図11まで順に示した。各図ごとに、図のなかで行われている作業について下記する。ここで、図のオブジェクトに割り当てられているインデックスは、その設計情報の生成された順序と対応している。

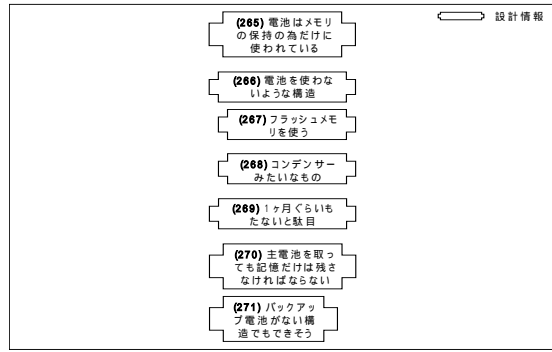


図8：構造化されていない状態

各設計情報が、創出された順番に並べてある。これを基にして構造化を進める。

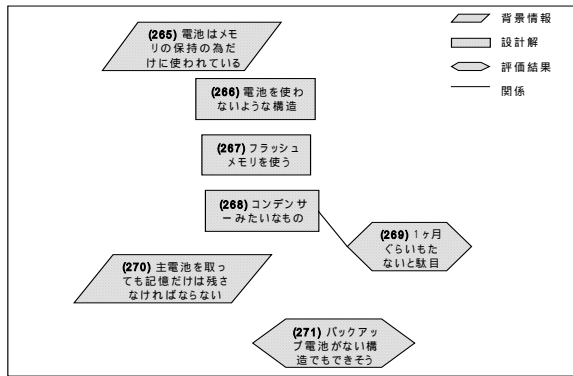


図9：議論の展開の明確化

設計情報の属性の明確化作業を行う。268番の設計解が269番の評価結果の対象とする設計解であることが明らかであるので、リンクを張り構造を明確化している。評価結果はやや右より、背景情報は左よりに配置し、設計解を中心に配置している。すぐ近くに対象とする設計解が見つかることができなかつた271番の評価結果は、右にずらしてある。ここで、全ての設計情報の創出された順序はまだ保持されている。

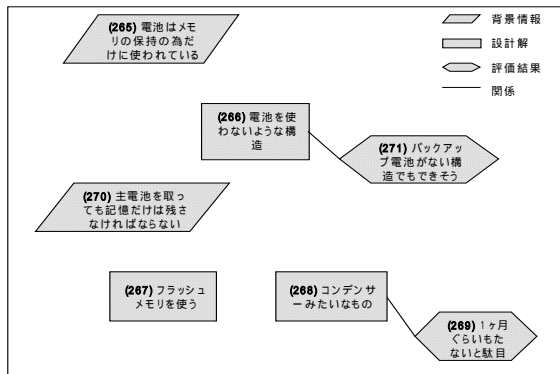


図10：空間的な表現として投影された段階

設計情報と評価結果の関係は理解し易く、リンクを張り関係を明示化している。266番と271番の間にリンクを張った。また、設計解の詳細化とそれに伴い背景情報がどのように関与するか思索した結果を、空間的な表現にして表した。

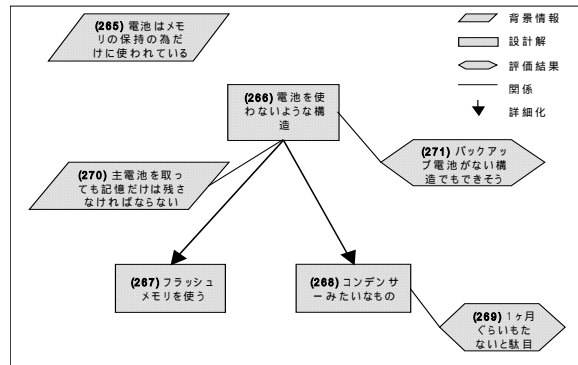


図 1.1 : 部分的な構造を明示化した状態

空間的に投影された表現について、評価した結果、266番の設計解から、267番と268番の設計解が代替案の関係として創出されていると判断し、矢印を使って構造を明確に表現した。また、265番の背景情報は、266番の設計解の創出に利用されていると思われるので、左上近くに配置している。

#### 4. 考察

##### 4.1. Spatial Hypertext 表現の有効性の検証

Spatial Hypertext 表現の有効性について検証を行った、特に以下3項目について説明する。

##### ・ 構造の同定に要する負担の軽減

設計議論の構造化作業のうち、設計解同士の詳細化の関係を同定する作業が、最も負担の大きい作業である。設計解と背景情報の関係付けを先に行うことや、設計解同士の関係や設計解と設計解の創出過程で創出されたと思われる背景情報との関係について考慮した結果を、一旦空間的な表現に投影させるステップをおくことなどで、構造の同定に要する負担を軽減している。

##### ・ 多くの設計情報集合の構造化

部分的に構造化した設計情報の一群を、一つのオブジェクトとしてグループ(チャンク)化し、扱う情報の抽象度を高めた。そのチャンクを単位にして、より情報量が多いなかでの構造化を行っていくことできる。

##### ・ モデルの中では規定されていない構造の表現

モデルでは規定されていないが、構造化作業中に発見できる議論の構造が幾つかある。議論の展開を強制するようなメタ設計の表現や、同一の設計解を対象にした複数の評価結果や背景情報の重要度の表現などがあり、空間的な表現(オブジェクトの配置)や、視覚的表現(オブジェクトの大きさ)として表すことできる。

#### 4.2. 提供すべき機能

全体の構造化作業のように、扱う情報量が多い場合に、構造化している下地に特徴を持たせておくと、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12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。

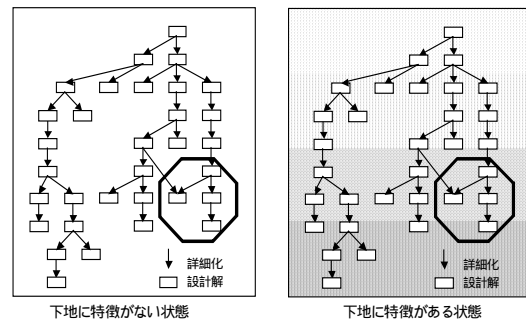


図 1.2 : 下地の特徴の効果

#### 5. 結論と展望

本稿では、議論全体のコンテキストを考慮しながら構造を漸次的に決定可能な手法の提案のために、漸次的な構造化を許容する Spatial Hypertext に着目し、設計分析者が設計議論を漸次的に構造化する作業を分析した。分析を通して、従来のノードとリンクを用いるハイパーテキスト表現に Spatial Hypertext 表現を組みあわせることで、漸次的な構造化作業を支援することできることがわかった。

今後は、解明した漸次的構造化のプロセスに基づいて、より効率的に構造化作業を進めることができるようなシステムを構築、評価を行い、その有効性についての検討を行う。

#### 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 '91 Conference. 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