

服属アーキテクチャの転用モデルに基づく 質問プロセスによるコンセプト形成手法

久代 紀之^{†1,†2} 大澤 幸生^{†2}

製品設計やシステム開発において、ステークホルダの要求を把握し、左記要求に基づき製品やシステムのコンセプトを形成する設計会議の重要性はいうまでもない。しかし、多くの人が感じているように、これら会議の効率はきわめて悪く、会議時間全体の9割は無駄な時間であるといわれている。本研究では、これら設計会議の効率改善を目的として、構造化された質問を用いたインタラクション制御によるコンセプト形成手法を開発した。本提案手法を、家庭内に設置された機器を集中管理するホームコントローラのコンセプト形成に適用し、手法としての有効性を定量的・定性的に評価した。

Concept Forming Method using Inquiry Process Based on Diverted Subsumption Architecture

NORIYUKI KUSHIRO^{†1,†2} and YUKIO OHSAWA^{†2}

Design meeting is a very important process for concept forming of product design or system design. However, the meeting is not managed efficiently. About 90 percent of time is spent useless for the mediation of the entanglement owing to misunderstanding premises of opinions. For improving the efficiency of the meeting, inquiry based concept forming method for design meeting, is proposed in this paper. The capability of improving the efficiency of concept forming has been evaluated both quantitatively and qualitatively in the design meeting about a residential controller.

1. はじめに

製品設計やシステム開発において、ステークホルダの要求を獲得し、要求に基づき製品やシステムのコンセプトを形成する設計会議の重要性はいうまでもない。しかし、多くの人が感じているように、これら会議の効率はきわめて悪く、会議時間全体の9割は無駄な時間であり¹⁾、会議出席者の前提の齟齬による議論の紛糾とその解消に会議時間の8割が費やされている²⁾とする報告もある。また、コンセプトを形成するための体系的な手法がなく、多くの設計会議が成果なく徒労に終わることもよく経験することである。本研究は、これら設計会議の効率化を目的としてなされたものであり、構造化された質問を用いたインタラクション制御によりコンセプト形成を支援する手法を提案するも

のである。

2. 課題と解決策の概要

2.1 課題

本研究において、設計会議とは、ステークホルダから要求を獲得し、要求に基づきコンセプトを形成することを目的とする会議と定義する。また、ステークホルダをシステムに関わるすべての人（利用者、供給者、流通者、保守者など）、コンセプトを、多様なシステムの目的や解決手段を貫く統一的な概念で、要求間の重み付けや解決手段選定のための基準を決定するものであり、目的レベル・手段レベルなどの階層性を持つ⁹⁾ものと定義する。

設計会議を遂行するうえでの課題を下記に設定する。
課題1 コンセプト形成に利用可能な要求（知識）をいかに獲得するか？

コンセプトの形成には、前提として図1に示す構造³⁾の要求知識の獲得が必要とされる⁴⁾。すなわち、直接ステークホルダが主張する“要求”に加え、要求により達成される“目的”と要求を実現する“手段”、さらにその目的を主張する“前提”と手段を検討する際に

†1 三菱電機株式会社環境研究開発センター
Living Environment Systems Laboratories, Mitsubishi
Electric Corporation

†2 東京大学大学院工学系研究科
Graduate School of Engineering, The University of
Tokyo

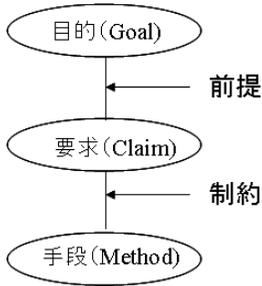
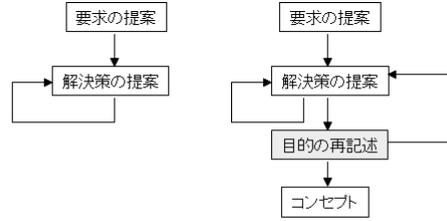


図 1 要求のスキーマ
Fig. 1 Schema of requirements.



単発的な議論ステップ コンセプトが構築される議論ステップ
図 2 設計会議の議論ステップ
Fig. 2 Discussion step in design meeting.

考慮した“制約”に関する知識で構成された要求知識（以下、要求プリミティブと呼ぶ）をいかに獲得するかがコンセプト形成を行ううえで重要である。これら目的、手段、前提、制約などは、一般的にステークホルダの暗黙的な知識として存在することが多く、直接ステークホルダから語られることは少ない。これら暗黙的な知識を抽出できる要求獲得手法が必要である。
課題 2 獲得した要求をもとにいかにコンセプトを形成するか？

コンセプト形成手法として、ブレインストーミング⁷⁾、KJ法¹⁰⁾の適用が一般的である。これらは、豊富な実績に裏づけされたシンプルで優れた手法であるが、一方でそのシンプルさゆえに、適用方法により成果が大きく変動する⁸⁾。設計会議が沈滞し、うまくコンセプトを形成できないという局面に遭遇することも多い。コンセプトを確実にかつ効率的に形成する体系的な手法が必要である。

2.2 解決のためのアプローチ

前記課題解決のために下記の解決策を提案する。

解決策 1 多次元ヒアリング手法⁶⁾による要求プリミティブ・要求シナリオ⁵⁾獲得

解決策 2 質問を用いたインタラクション制御によるコンセプト形成

2.2.1 多次元ヒアリング手法による要求獲得手法
要求プリミティブ・シナリオの獲得には、多次元ヒアリング手法と階層的シナリオ成長プロセスで構成される既知の要求獲得手法⁶⁾を適用した。

(1) 多次元ヒアリング手法

目的・要求・手段からなる3階層の知識(1次元)を問う質問と、3階層の知識に包含された暗黙的な前提・制約を獲得するためのPositive/Negativeな理由(2次元)を問う質問を組み合わせた多次元ヒアリング手法を適用した。

(2) 階層的シナリオ成長プロセス

下記2工程で構成される要求プリミティブ・要求シナ

リオ獲得プロセスを適用した。

- 要求プリミティブ獲得工程：多次元ヒアリングを適用したインスペクション試験¹⁹⁾工程
- 要求シナリオ獲得工程：要求プリミティブを核として、ステークホルダ間のディスカッションと多次元ヒアリングにより要求シナリオとして成長させる工程

2.2.2 質問を用いたインタラクション制御によるコンセプト形成手法

本研究では、質問を用いて設計会議の議論をナビゲーションし、獲得された要求プリミティブを核に展開・比較と主題的統合プロセスを交番させることでコンセプト形成を支援する手法を開発した。

コンセプト形成手法を検討するにあたり、従来手法の課題を明確にするために、ブレインストーミングを用いた設計会議を予備実験として数回実施した。この結果、設計会議の大半の議論が、要求表明と要求に対する単純な(線形的な)解決策(アイデアレベル)提案で終了してしまうことが判明した。しかし、ごくまれに目的や解決策に関し深い議論が行われ、コンセプトが形成されることが観察された。単発的な議論およびコンセプトが形成された場合の議論ステップを図2に示す。これらステップの差異は、解決策の提案・目的の再記述というサイクリックなプロセスの存在の有無であることが判明した。

既存研究においても、コンセプト形成においてサイクリックなプロセスの重要性が指摘されている。たとえば、Finkeによるジェネプロアモデル¹¹⁾では、先行形態とその解釈に基づくアイデア形成という2つのプロセスを繰り返すことにより、コンセプトが形成されていくという理論を提示している。諏訪も、創造作業における外在化と外在化した表象との間の自省プロセスの繰返し¹²⁾の重要性を強調している。さらに、堀は、これらモデルに基づき、Divergent thinking(解決策を展開する)/Convergent Thinking(解決策を絞

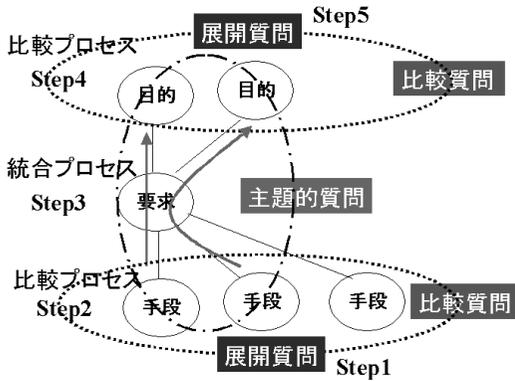


図3 提案するコンセプト形成手法の概要
Fig.3 Outline of the proposed method.

り込む)の繰返しを促進することにより、コンセプト形成を支援するツール¹³⁾を提案している。

本研究では、これら知見を前提とし、新たなコンセプト形成手法を提案する。構築した手法の概要を(図3)に示し、下記にその実行ステップを示す。

- Step1 複数の解決策を展開し、解決策間の比較を発生。
- Step2 比較を通じ、解決策の選定基準(非機能要求¹⁶⁾)と共通概念を抽出。潜在的な非機能要求への気づきを促進¹⁴⁾。
- Step3 要求・目的に解決策を主題的¹⁴⁾に統合。
- Step4 統合により新規シナリオを形成し、シナリオから目的を再定義¹⁵⁾。
- Step5 目的間の比較により目的の選定基準と共通する概念を抽出。

これら展開・比較と統合のサイクリックなプロセスを通じコンセプトが形成される。ただし、予備実験に見るように、展開・比較、統合というプロセスの交番は、自然発生的には起こりにくい。このため本研究では、質問を用い、展開・比較、統合プロセスをナビゲーションすることでコンセプト形成を支援する。

展開・比較、統合プロセスのナビゲーションのための質問法とアルゴリズムに関しては、以下のように定めた。

設計会議ナビゲーションのための質問法

設計における質問の重要性を主張する研究として、Ozgunの研究がある¹⁸⁾。Ozgunの研究では、哲学・教育・人工知能・認知工学の知見をベースに、設計会議において有用と考えられる質問を12種類に分類した。本研究では、左記分類をベースに、展開・比較・統合の3つのカテゴリに再構築(表1)した。これらの構造化された質問を用い、設計会議の展開・比較、統合プロセスのナビゲーションを行う。

表1 インタラクション制御に用いる質問一覧
Table 1 Inquiries for interaction control.

質問分類	例
展開	
Enablement	What allows you to measure distance?
Method Generation	How can we keep it from slipping?
Proposal	Can we use a wheel instead of a pulley?
比較	
Interpretation	Will it slip a lot?
Procedural	How does a clock work?
Causal Antecedent	Why is it spinning faster?
Causal Consequence	What happened when you pressed it?
Rational/Functional	What are the magnets used for?
Expectational	Why is the wheel not spinning?
統合	
Scenario Creation	What if the device was used on child?
Ideation	What can we do with magnets?

質問を用いた会議制御のためのアルゴリズム

制御アルゴリズムを定義するには、前提として会議プロセスのモデルが必要とされる。本研究では、会議プロセスのモデルを以下のように定めた。

設計会議の場において、参加者は、他の出席者の要求(要求プリミティブ)を意識し、自分の意見を適応的に述べていく。いわば、個人レベル(マイクロレベル)の適応行動を集積し、会議という場において出席者共通のマクロなコンセプトを形成していく。しかし、参加者は、自律的(非同期)に適応行動を行っているため、出席者全員が画一的なプロセスに則って発言していることは想定しがたい。したがって、フローチャートで示されるようなシーケンシャルなプロセスでなく分離可能ないくつかのサブシステムで構成されたモデルを想定することが自然である。

本研究では、ロボット制御においてその迅速と熟考を両立させるモデルとして Brooks が提案した服属アーキテクチャ¹⁷⁾を転用した会議プロセスモデルを構築した(図4)。服属アーキテクチャとはタスクの複雑さに応じて階層的に構成され、上位のレベルが下位のレベルを抑制する(服属させる)ように制御する。このアーキテクチャは、効率性、拡張性、ロバスト性に優れるとされる。

図4において、各ブロックは下記タスクを示す。

- 解決行為：目的・要求から解決手段を検討する行為
- 展開：目的・手段の展開
- 比較：展開された目的・手段間の比較による特徴の抽出

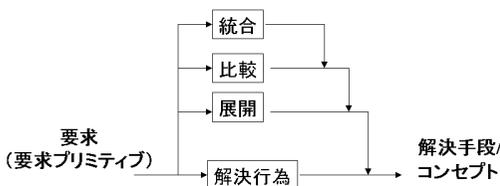


図 4 服属アーキテクチャに基づく会議プロセスモデル

Fig. 4 Process model on the subsumption architecture.

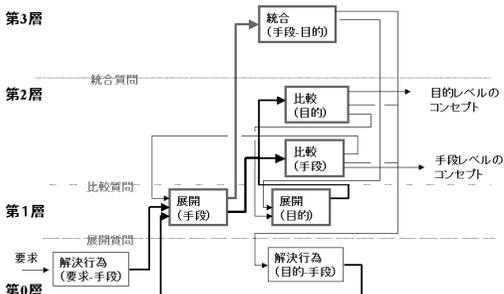


図 5 会議プロセスモデル-詳細
Fig. 5 Process model - detail.

```

Switch 会議の状況を判断
case(解決行為(要求-手段)、展開(Divergent)質問をする
case(解決行為(目的-手段)、展開(Divergent)質問をする
case(展開(手段)
  While 展開(手段)の継続
    何もしない
  end
  統合質問/比較質問(Convergent)質問をする
case(展開(目的)
  While 展開(目的)の継続
    何もしない
  end
  比較質問(Convergent)質問をする
case(比較(手段)、何もしない
case(比較(目的)、何もしない
case(統合)、何もしない
otherwise、次の議論/会議の終了
end
    
```

図 6 質問によるインタラクション制御のアルゴリズム

Fig. 6 Algorithm for interaction control with inquiry.

- 統合：目的-手段のシナリオによる統合化

図 4 を詳細化したモデルを図 5 に示す。

司会者は、図 5 のモデル上で、出席者の発言状況から現在位置を識別し、現在位置に応じ表 1 に分類された質問から適切な質問を選択し、図 6 に示したアルゴリズムに従って会議のナビゲーションを行う。図 4 のモデルにおいて、各プロセスの遂行と上位から下位プロセスへの移行は、人間が本来の性質として持つ行動としてナビゲーションなしに実行されることを前提とし、下位から上位プロセスの移行に対してのみ、質問(展開・統合・比較)を用いたナビゲーションを行う。

本アルゴリズムを用いて会議のナビゲーションを行った議論の例を図 7 に示す。シンプルなアルゴリズム

解決行為(目的-手段) A: 検索情報をプレゼンテーションに効果的に使いたいな
 B: ビデオを会場に持ちこめば良いよ
 司: 他の方法ってあるかな?
 C: xxxxx
 ..(いくつかの提案と提案の収集)

展開(手段) 統合質問 司: なんて、そもそも映像情報をプレゼンテーションに持ち込みたいの?
 A: そうだな。映像情報は心に直接訴えるだろう、だから実験風景を見せることで、観客にインパクトを与えられると思う。
 D: そうか、プレゼンテーションの最中に使ひんだね、ジャビオだと検索が面倒だな。

展開(手段) 比較質問 司: DVDとかだったら、インデックスをつけておけばすぐに検索できる
 D: PCに動画を上げておけばよいんじゃない?
 ..(いくつかの提案)

比較(手段) 比較質問 司: 検索性をいうことでどれの方法が優れているのかな? 方法間の得失であるのかな?
 C: ビデオはただだけど、DVDとPCだったら、検索性をいうことは同じくらいかな。
 D: PCの方が、いろいろな検索ができるのいいと思う。
 B: でも、DVDの方が画像が良いだろう、インパクトを与えるんだったら、画像がきれいではないとだめじゃない。

比較(目的) 司: 検索性と画像の良し悪し、どちらが優先するのでしょうか?
 A: 画像の良しは大事だけれども、やはり一人で手動で検索したいので検索性はかな。
 ..(少しは、海外での発表なので、DVDと再生できない可能性もある)

図 7 質問によるインタラクション制御の例

Fig. 7 Example for interaction control with inquiry.

ムのため、司会者への事前の特殊な訓練なしに導入が可能であり、予想外の発言に対応できるロバスト性とプロセスをたどる必要を排した効率性が実現される。

3. 実験

3.1 実験のセットアップ

提案手法の有効性を検証するために、下記 2 種類の実験を、家庭内に設置された種々の家電機器を統合的に制御するホームコントローラを題材として実施した。ホームコントローラは、家電機器の統合操作監視のほか、機器の省エネ運転に関するアドバイス機能、インターネットを経由した情報提示(自治体からのお知らせ表示、地区回覧版など)の機能を有する(図 8)。

実験 1 解決策 1 による要求獲得(要求会議)

実験 2 解決策 2 によるコンセプト形成(設計会議)

実験の基本セットアップを表 2 に示す。コンセプト形成には、前提として、システムが対象とするドメインの知識やシステム自体に関する理解が必要になる。本実験では、実験 1 を通じてこれら知識と理解を行うことを意図している。したがって、実験 1 と実験 2 は同一メンバ(実験 2 では、ユーザ代表 2 名を除く)で、連続して実施した(所要時間各チーム約 4 時間)。評価は、同質と考えられる 2 チーム(ただし、司会者と記録者に関しては両チーム共通)を構成し、チームごとの適用効果を比較することにより行った。さらに、タスク実施順による影響を小さくするため、実験手順に関して表 2 に示すようにチームごとにタスク順序を反転させた。評価には、下記の定量・定性的な指標を用いた。

(1) 定量評価:

- 量的評価: 単位時間(分)あたりに抽出された要求獲得数、コンセプト数(アイデア数)比較
- 質的評価: 専門家チーム(ヒューマンイン

タフフェイス (HMI) 専門家 2 名, 設計者 1 名) によるコンセプトの質的評価

(2) 定性評価: 可視化ツールを用いた会議プロセスの観察

なお, 実験 1 は, 文献 6) に記載された多次元ヒアリングによる要求獲得の確認試験の位置づけとなる.

3.2 実験に用いたツールの説明

会議プロセスの可視化に, KeyGraph²¹⁾ と呼ぶツールを用いた. KeyGraph は, 下記操作により, 文章形式のデータの構造を可視化するツールである.

(1) 文章データに頻出する単語で, 同一文での共

起頻度が高い単語を黒ノードで表し, これら黒ノードを実線で結んでひとかたまりの島(主張の土台)として表示する.

- (2) 文章中のある単語と, いずれか複数の島に含まれる単語が, 同一文章中出现する頻度が高いとき, その単語を赤ノードで表示し, 赤ノードと島をつなぐ橋を点線で表す. この橋により, 島が接続され, 主張が結合されることで文章全体の主張を説明する.

本実験において, 同一文は, 会議出席者の発言, 同一文章とは, 各タスクに関する一連の発言群に相当する.

4. 実験結果

4.1 実験 1 結果

結果を表 3, 表 4 に示す. 表 3 は, チームごとの要求獲得能力の比較結果, 表 4 は, 多次元ヒアリング+階層的シナリオ成長プロセスによる要求会議の効率改善を示すものである. 結果, 下記を確認した. なお, これらの結果は, 文献 6) で確認された結果とほぼ一致する.

- (1) 表 3 において, 同一タスクに対する時間(分)あたりの要求獲得数がほぼ同一であることから, 要求獲得能力において, A・B チーム間に差異はない(T 検定の結果, P > 0.05 で帰無仮説は

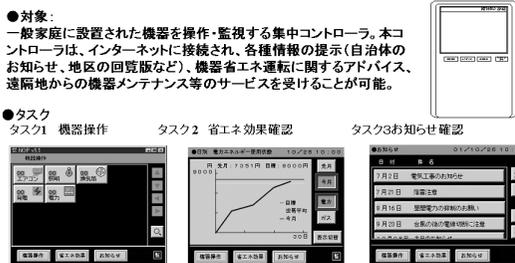


図 8 ホームコントローラとタスク画面 Fig. 8 Home controller and panel.

表 2 実験のセットアップ Table 2 Basic setup of the experiments.

Table with 2 columns: 項目 (Item) and 内容 (Content). It details the experimental setup for two experiments: '実験 1: 要求獲得実験' and '実験 2: コンセプト形成実験', including team composition, task structure, and procedures.

表 3 チームの能力比較 Table 3 Capability comparison between teams.

Table with 3 columns: チーム名 (Team Name), タスク 1-1 (Task 1-1), and タスク 1-2 (Task 1-2). It compares performance metrics like total time, number of requirements, and requirements per minute for two teams (A and B).

表 4 要求獲得効率の改善 Table 4 Improvement for requirement elicitation.

Table with 3 columns: 項目 (Item), B チーム従来 (Team B Traditional), and A チーム提案 (Team A Proposed). It shows efficiency improvements for two tasks (Task 2 and Task 3) comparing traditional and proposed methods.

表 5 アイデア・コンセプト数
Table 5 Number of idea and concept.

A チーム		
適用手法	アイデア総数	コンセプト直結アイデア数
従来手法	6	3
提案手法	9	7
B チーム		
適用手法	アイデア総数	コンセプト直結アイデア数
従来手法	10	4
提案手法	10	9

表 6 アイデア・コンセプトの質
Table 6 Quality of idea and concept.

A チーム			
適用手法	P	U	G
従来手法 (タスク 3)	2.5	1.7	2.1
提案手法 (タスク 2)	3.0	2.6	2.9
B チーム			
適用手法	P	U	G
従来手法 (タスク 2)	2.4	2.2	2.2
提案手法 (タスク 3)	2.9	2.8	2.9

棄却されず、A・B 両チームの要求獲得能力には統計的に差異があるとはいえず、かつ A チームと B チームの平均値の差異は [-0.023 0.014] (信頼区間 95%) の範囲にありきわめて小さいため、A チームと B チームの能力差はほとんどないと見なすことが可能²⁵⁾).

- (2) A・B チームの要求獲得能力に差異がないことを前提とすると、表 4 において、タスク 2、タスク 3 において単位時間 (分) 内の要求獲得数が、提案方式適用時に向上していることから、提案手法は、要求獲得効率の改善に効果がある (P < 0.05 で統計的に有意)。

4.2 実験 2 結果

実験 2 の結果を表 5、表 6 に示す。表 5 は、実験 1 で抽出された要求に対し、実験 2 を通じて提案されたアイデア・コンセプトの数を示す。表 6 は、提案されたアイデア・コンセプトに対する専門家チームによる質的評価の結果である。質的評価は、3 名 (HMI 専門家 2 名、設計 1 名) からなる専門家チームを (実験 1 の参加者とは別途) 構成し、PUG (Proposability: アイデアの説得性, Unnoticability: アイデアの気づきにくさ, Growability: アイデアの発展性) 評価指標²²⁾ を用いて 3 段階評価 (最高点 3, 最低点 1) で行った。

結果、提案手法の適用による下記効果を確認した。

- (1) 設計会議で獲得されたアイデア・コンセプトの量的な側面においては、コンセプトに直接関係するアイデア提案数が増加した (表 5) (A チーム: 3 ⇒ 8, B チーム: 4 ⇒ 9 に増加, P < 0.05

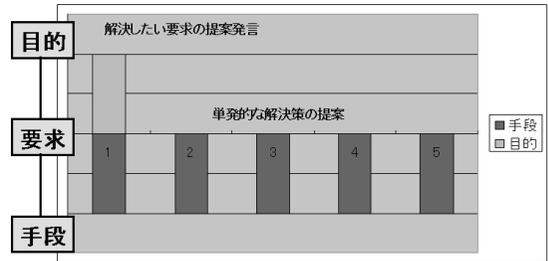


図 9 短時間に議論が終結する議論プロセス (従来手法)
Fig. 9 Discussion process (short) on legacy method.

で統計的に有意)。

- (2) 会議形態に顕著な差異が観察された。提案手法を適用した設計会議の場合、ディスカッションが長時間継続されるのに対し、従来手法適用時は、予備実験で観察されたと同様に、要求とその解決策の単発的な議論に終始することが多かった。A チームでは 7 つの議論のうち 6 つが、B チームでは 8 つの議論中 7 つが、要求とその解決策を提案する数回の発言で議論が終結した。
- (3) 設計会議にて獲得されたアイデア・コンセプトの質的な側面においては、新規性の視点で、A・B チームともに改善された (表 6) (A チームについては、P < 0.01 で統計的に有意, B チームについては、P < 0.05 で統計的に有意)。

実験中に形成されたコンセプトの例として、図 8 に示すタスク 2 では、設計者が意図した地域の回覧版や自治体からのお知らせ機能の電子化に加え、メールを介した家族団楽時のコミュニケーション促進ツールとしてのコンセプトが、タスク 3 では、設計者が意図した電気使用量提示に加え、より効果的な省エネ意識の喚起のために、自分あるいは近隣他者との競争意識を利用するコンセプトなどが形成された。設計者には事前に想定することができなかった新規性の高い目的・手段レベルの各コンセプトが、提案手法の適用により形成されることを確認した。

設計会議の議論プロセスは、図 2 に示した予備実験の結果とほぼ同一の結果となった。質問による会議ナビゲーションの有効性の評価のために、X 軸に会議中の発言を時系列で配列し、Y 軸に、発言の内容 (目的に対する発言/手段に対する発言/あるいはその両方) により得点付けしたグラフを作成した。図 9 は、従来手法適用時に議論が短期間で終了する場合の議論プロセス、図 10 は、従来手法適用時にコンセプトが形成された場合の議論プロセス、図 11 は、提案手法の適用時の議論プロセスである。グラフ下部の吹き出しは、表 1 に示した質問による会議ナビゲーションを突

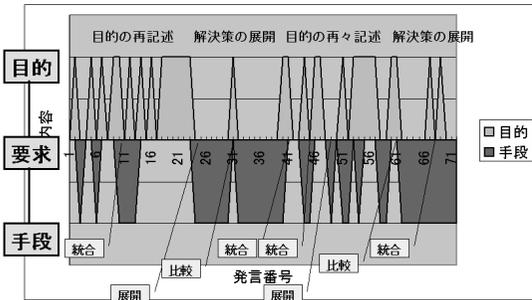


図 10 長期間議論が継続する場合の議論プロセス (従来手法)
 Fig. 10 Discussion process (long) on legacy method.

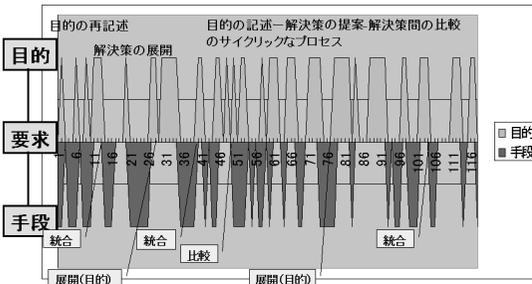


図 11 提案手法適用時の議論プロセス
 Fig. 11 Discussion process on proposed method.

施した時点を示す。

図 10 の場合は、会議出席者自身が自発的に発した質問、図 11 の場合は、司会者が会議のナビゲーションのために行った質問のタイミングをそれぞれ示す。グラフにおいて、目的、手段の発言が連続している部分は、目的あるいは手段に対する展開・比較の議論がなされているステップ、目的・手段が発言ごとに交番している部分あるいは同一発言中に目的、手段の両方が含まれる部分は、統合（主題的関連付け）の議論がなされているステップと見なすことができる。

図 10、図 11 において、展開および比較のカテゴリに属する質問をトリガとして展開・比較プロセスが起動され、統合のカテゴリに属する質問をトリガとして手段 ⇒ 目的へと発言が移行し主題的な関連付けがなされていることが観察される。これらにより、質問により、本提案手法が目標とする図 3 に示したコンセプト形成プロセスに則し、展開・比較、統合ステップがよく制御されていることが確認できる。

5. 考 察

要求会議・設計会議における議論をステップバイステップで可視化し、要求シナリオおよびコンセプトの形成過程を観察する。

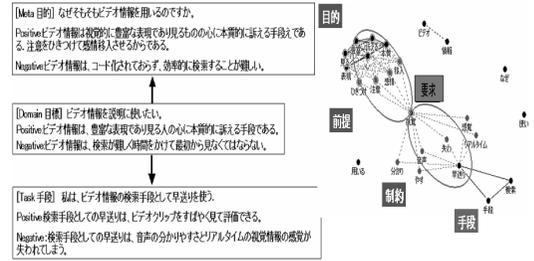


図 12 要求プリミティブ
 Fig. 12 Requirement primitive.

5.1 要求プリミティブの交叉・連鎖による要求シナリオの形成

先述の KeyGraph を用いて議論を可視化し、要求シナリオ形成の過程を観察する。一例として、“プレゼンテーションに映像情報を用いたい”という要求に対し、多次元ヒアリング手法を用いて獲得した要求プリミティブを可視化した結果を図 12 に示す。図 12 に示すように要求プリミティブは、要求を中心として、目的、手段を双極とする ∞ 型の構造として可視化される。階層的シナリオ成長プロセスでは、これら要求プリミティブが議論を通じ成長し、ステークホルダ全体の要求を統合した要求シナリオとして形成される。要求が、会議シナリオの会議の場で成長する様子は、生物学における遺伝とのアナログとしてとらえると理解しやすい。すなわち、要求プリミティブを染色体に例えると、会議中の意見交換の結果、要求シナリオが形成されていくことは、2 つの染色体が一部の遺伝子を互いに置き換える交叉という遺伝オペレーションに類似している。また、要求プリミティブが階層関係（ある要求プリミティブの手段が他要求プリミティブの目的などの関係）にあるときには、要求プリミティブは結合され要求シナリオが形成される。これは、連鎖という遺伝オペレーションに類似している。すなわち、複数の要求プリミティブの目的が共通の場合には、要求プリミティブの ∞ 構造の極部が互いに交叉し、目的が結合したシナリオに統合される（図 13 (a)）。また要求プリミティブの関係が、目的と要求、要求と手段というように階層関係にある場合には、手段と目的の極部が相互に連鎖し、要求間の共通な概念がその連鎖部分に形成され一連の要求シナリオに統合される（図 13 (b)）。実際の議論において要求シナリオが形成されるプロセスを可視化した結果を図 14 に示す。図 13 に概念的に示したような要求プリミティブの交叉・連鎖のオペレーションにより、要求シナリオが形成されていることが観察される。

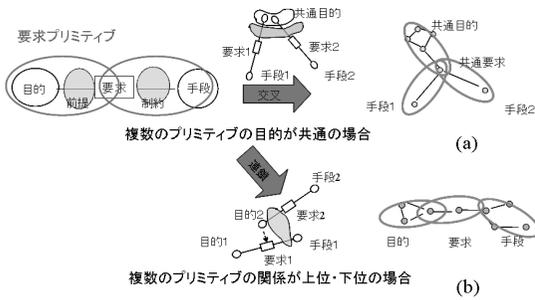


図 13 交叉・連鎖による要求シナリオの成長プロセス

Fig. 13 Requirements scenario through intersection and crossing.

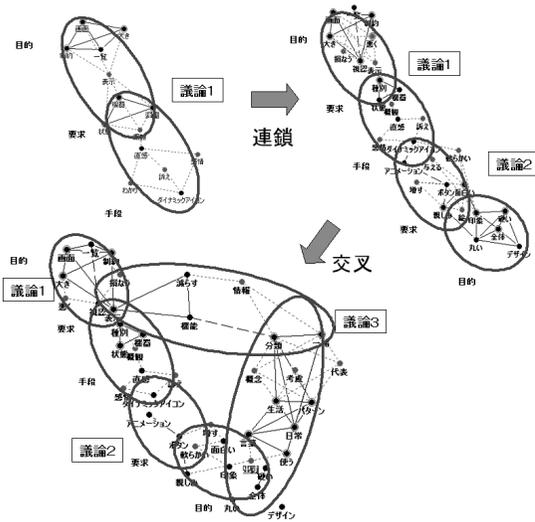


図 14 要求シナリオの形成

Fig. 14 Example of requirements scenario integration.

5.2 変異によるコンセプトの形成

展開・比較と主題的統合プロセスの交番によるコンセプト形成は、前節と同様に遺伝オペレーション上の変異というアナログを用いて説明できる(図15)。手段の展開により新規手段が抽出され、手段間の比較により、手段間に共通する特性が(手段レベルの)コンセプトとして、その変異部分に形成される。さらに、統合プロセスにより、手段から新たな目的が記述され、目的間の比較により、目的間に共通する特性が(目的レベルの)コンセプトとして変異部分に形成される。

図16は、実験2におけるチームBの質問によるインタラクション制御を行った議論の可視化結果である。多次元ヒアリングにより、要求プリミティブが形成された後、司会者の主題的統合を促す質問により、解決策から目的が記述され、目的からさらに新たな手段が形成されていく様子が確認される。当初の目的と新規に記述された目的の変異部分には、目的間の共通

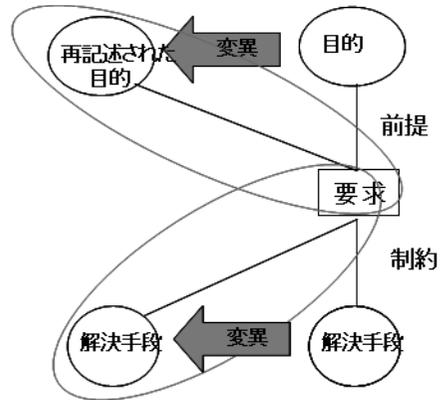


図 15 変異による目的・手段の展開

Fig. 15 Enhancement of purpose and method by mutation.

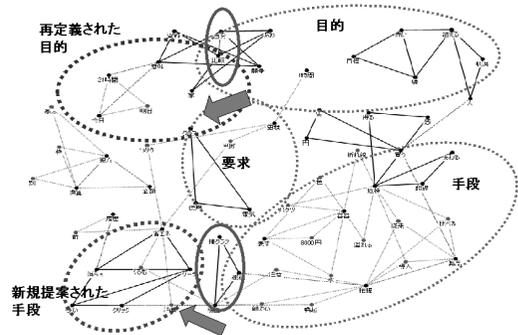


図 16 変異によるコンセプトの形成プロセス

Fig. 16 Concept forming process through mutation.

概念、すなわち先述したタスク3における自分や他人との競争意識を用いた省エネ意識の喚起という目的レベルのコンセプトが抽出されている。また、手段の変異部分には、同様に実現手段に関する共通概念として、住戸全体の電気使用量だけでなく、機器ごとの電気使用量をグラフにて提示するという手段レベルのコンセプトが抽出される。

設計会議を経て形成されたこれらの目的・手段のコンセプトは、本研究が対象とする要求獲得工程に引き続いて実施されるシステム設計工程において、多数の要求間の重み付けや解決手段の選択基準を与える重要な設計情報として利用される。単純にステークホルダの要求を集めるだけでは、品質や性能要求を満たす製品やシステムを設計することはできない²³⁾ことはよく知られている。システム設計には、ステークホルダから獲得された種々の要求プリミティブに共通する概念をコンセプトとして明確化し、これらコンセプトをもとにアーキテクチャを決定することが重要²³⁾である。本提案手法は、これらシステム設計に必要な

多様な目的や解決手段を貫く統一的なコンセプトを形成する手法として提案されたものであり、システム設計時の要求間の重み付けや解決手段選定のための基準を提供する。また、本節で導入した可視化手法により、ステークホルダの要求を「見える化」し、ステークホルダ間の要求の相互の関係を把握し、相互の重み付けを容易にする効果も期待できる。なお、コンセプトに基づくシステム設計手法としては、ゴール指向分析手法²⁴⁾などの方法論の適用が有効と考えている。

6. 結 論

設計会議の効率化を目的として、服属アーキテクチャに基づく設計会議プロセスモデルを構成し、左記モデルに基づく質問を用いたインタラクション制御によるコンセプト形成手法を開発した。

本手法の有用性を検証するために、ホームコントローラを対象とした要求・設計会議に適用し、構造化された質問を用いたインタラクション制御により、議論の展開・比較、統合プロセスが効果的に制御され質の高いコンセプトが形成できることを確認した。

さらに、会議という場において、各ステークホルダの個人レベル(マイクロレベル)の要求プリミティブが集積して、適応的にマクロな要求シナリオやコンセプトとして展開・統合されていくプロセスを可視化した。これらプロセスの説明に生物学における遺伝オペレーション(交叉・連鎖・変異)のアナロジを用い、要求シナリオは、要求プリミティブの交叉・連鎖により、コンセプトは、要求プリミティブの変異と類似の現象として形成されることを説明した。

参 考 文 献

- 1) Olson, G.M., Olson, J.S., Carter, M.R. and Storosten, M.: Small Group Design Meetings: An Analysis of collaboration, *Human-Computer Interaction*, Vol.7, No.3, pp.347-374 (1992).
- 2) Wiegers, K.E.: *Software Requirements*, Microsoft Press (2003).
- 3) 古田一雄: 社会的合意形成過程の認知システム工学的分析によるモデル化, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.4, No.3, pp.181-188 (2002).
- 4) Loucopoulos, P., et al.: *System Requirements Engineering*, McGraw-Hill Book Company (1995).
- 5) Carrol, J.M.: *Making Use Scenario-based Design of Human-computer Interactions*, The MIT press (2000).
- 6) 久代紀之, 大澤幸生: 多次元ヒアリングと階層的な要求統合プロセスによる要求獲得手法, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.10 (2006).
- 7) Osborn, A.F.: *Applied imagination: Principles and procedures of creative problem solving* (Third Revised Edition). Charles Scribner's Sons, New York, NY (1963).
- 8) Diehl, M. and Strobe, W.: Productivity loss in idea-generating groups: Tracking down the blocking effect, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.61, pp.392-403 (1991).
- 9) Mostov, K.M. and Soloviev, A.N.: *Conceptual Design of Complex Electronic Systems*, IEEE (1995).
- 10) 川喜田二郎: KJ法 混沌をして語らしめる, 中央公論社 (1996).
- 11) Finke, R.A. Smith, S.M. and Ward, T.B.: 創造的認知—実験で探るクリエイティブな発想のメカニズム, 森北出版 (1999).
- 12) 諏訪正樹: 創造の研究: 現象を生む実践の学, 人工知能学会誌, pp.205-213 (2004).
- 13) 堀 浩一: A system for aiding creative concept formation, *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, Vol.24, No.6, pp.882-889 (1994).
- 14) Goldstone, R.L.: Similarity, interactive activation and mapping, *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, Vol.20, pp.3-28 (1994).
- 15) Bassok, M. and Medin, D.L.: Birds of a feather flock together: Similarity judgements with semantically-rich stimuli, *Journal of Memory and Language*, Vol.36, pp.311-336 (1997).
- 16) Chung, L. Nixon, B., Yu, E. and Mylopoulos, J.: *Non-functional Requirements in Software Engineering*, Kluwer Academic (2000).
- 17) Brooks, R.A.: A Robust Layered Control System for a Mobile Robot, *IEEE Trans. Robotics and Automation*, Vol.2, No.1, pp.14-23 (1986).
- 18) Ozgur, E.: *Effective Inquiry for Innovative Engineering Design*, Springer Verlag (2004).
- 19) Nielsen, J. and Mack, R.L.: *Usability Inspection Methods*, John Wiley and Sons (1994).
- 20) Ohsawa, Y., et al.: *Modeling the Process of Chance Discovery*, Springer Verlag, pp.2-15 (2003).
- 21) Ohsawa, Y.: KeyGraph: Visualized Structure Among Event Clusters, *Chance Discovery*, Ohsawa, Y. and McBurney, P. (Eds.), pp.262-275, Springer Verlag (2003).
- 22) Ohsawa, Y. and Fukuda, H.: Change Discovery by Stimulated Group of People, Application to Understanding Consumption of Rare Food, *Journal of Con-tengencies and Crisis Management* (2002).

- 23) Poppendieck, M. and Poppendieck, T.: *Lean Software Development*, Addison Wesley (2003).
 24) Anton, A.I.: *Goal-Based Requirements Analysis*, pp.136-144, ICRE (1996).
 25) 広津千尋：臨床試験における統計的諸問題(1)—同等性検定を中心にして，臨床評価，Vol.14, pp.467-476 (1986).

(平成 19 年 4 月 19 日受付)

(平成 19 年 12 月 4 日採録)



久代 紀之 (学生会員)

埼玉大学工学部電子工学科 (1981 年)，筑波大学大学院にて経営学修士 (2004 年) を取得。三菱電機 (株) にて，住環境制御システムに関する要素技術の研究・開発に従事。住環

境研究開発センターシステムエンジニアリング部部长。システムアーキテクチャ設計およびネットワーク設計を専門とする。現在，東京大学工学系大学院博士課程所属。要求獲得・コンセプト形成等，ユーザとのインタラクションを通じ，システム価値を相互発見し創造する技法の研究を行っている。



大澤 幸生 (正会員)

1968 年生。1990 年東京大学工学部卒，1995 年同工学系研究科より博士 (工学) 取得。大阪大学基礎工学部助手，筑波大学ビジネス科学研究科助教授等を経て，東京大学工学系研究科准教授。チャンス発見学の提唱 (2000 年) を土台として，人間の価値センシング能力を高める技法を研究しており，久代との研究はその最前線の 1 つである。著書，編著に『知識マネジメント』(オーム社，2003 年)，『ビジネスチャンス発見の技術』(岩波書店，2004 年)，『チャンスとリスクのマネジメント』(朝倉書店，2005 年)，『チャンス発見のデータ分析』(東京電大出版，2006 年)，Chance Discovery (Springer Verlag，2003 年) 等。