

論証に基づく設計意図記述による設計事例データベース

Design Case Database of Design Rationale Description based on Argumentation

加藤 義清*1 酒匂 信匡*2† 堀 浩一*2
Yoshikiyo Kato Nobutada Sako Koichi Hori

*1情報通信研究機構

National Institute of Information and Communications Technology

*2東京大学大学院工学系研究科

School of Engineering, The University of Tokyo

Engineering design involves continuing stream of decision making, which has great impact on the design at much later stages. In this study, we explore the possibility of employing argumentation for modeling decision making process in engineering design. In this paper, we first review an argumentation-based design rationale model, which is derived from an argumentation based qualitative decision model. Then, we describe a graphical representation of such model, which is now being implemented as a user interface of design case database. Such graphical representations are crucial for allowing busy designers describe design rationale, as they mitigate the cost of description.

1. はじめに

現代社会は様々な大規模複雑システムによって支えられている。それらを確実かつ効率的に設計、開発、運用するには関係者がシステムについての知識を共有することが必要不可欠である [MacLean 96]。本研究では設計に関する知識の中でも設計意図を対象とする。設計意図とは、システムがどうしてどのように設計されたのか、設計の背後にある理論や理由のことを指し、重要な設計知識の一つである [Moran 96]。

本研究では設計における意思決定過程の記述を設計意図として捉え、それを共有、活用するための仕組みの構築を目指している。特に、設計意図を論証として記述する方法を提案している [加藤 09]。本稿では、本研究で開発を進めている提案手法に基づく設計意図記述を用いた設計事例データベースシステムについて報告し、同システムを用いたユーザ評価への展望について述べる。

2. 論証に基づく設計意図記述

2.1 可能性論理による論証評価

議論学では、ある論点について対立する主張をめぐる論証から構成される議論構造を考える。論証 $A = \langle S, d \rangle$ は、主張 d と主張 d を結論として導くルール集合 S からなる。このような論証の集合が与えられたときに、論証の強弱関係に基づき、主張の強さを決定する。論証の強弱関係の与え方、およびそれに基づく主張の強さの決定方法は様々あるが、ここで Amgoud らによる可能性論理に基づく論証ベースの決定モデル [Amgoud 06] について述べる。

論証ベースの決定モデルは $\langle D, A, \succ, \triangleright_{princ} \rangle$ の組で与えられる。ここで、 D は取り得る決定の集合、 A は D の要素を支持あるいは攻撃する議論の集合、 \succ は A について定義される順序関係、 \triangleright_{princ} は D について定義される順序関係である。知識ベース $K = \{(k_j, \rho_j)\}$ は世界に関する知識の集合、 k_j は言語 L の式、 ρ_j は $N(k_j) \geq \rho_j$ となるように与えられる。ここで、 $N(k_j)$ は可能性論理における必然性を与える。また、ゴ

連絡先: 加藤義清, 情報通信研究機構, 京都府相楽郡精華町光台 3-5, Tel: 0774-98-6874, Fax: 0774-98-6960, E-mail: ykato@nict.go.jp

† 現在, 信州大学大学院工学系研究科。

ルベース $G = \{(g_i, \lambda_i)\}$ は意思決定者のゴールについての優先度を与えるもので、 g_i はゴールを、 λ_i は g_i の優先度を表す。あるゴール g に関しての決定 d を支持する論証は

$$S \cup \{d\} \vdash g \text{ (強い支持)}$$

あるいは

$$S \cup \{d\} \not\vdash \neg g \text{ (弱い支持)}$$

を満たすような $S \subseteq K$ で与えられる。

同様に、あるゴール g に関して決定 d に反対する論証は

$$S \cup \{d\} \vdash \neg g \text{ (強い反対)}$$

あるいは

$$S \cup \{d\} \not\vdash g \text{ (弱い反対)}$$

を満たす S で与えられる。

論証の強さは論証に含まれる知識のうち、必然性が最も低い知識の必然性で定義される確信レベル $\text{Lev}(A) = \min_i \{\rho_j | k_j \in S\}$ と、関係するゴールの優先度で定義される重み $\text{Wei}(A) = \alpha$ s.t. $(g, \alpha) \in G$ で表されて、それらの比較により論証間の強さを決定する。比較の方法は議論の強さによって異なり、それぞれ次のように与えられる。

(強い議論の比較)

$$A \succ B \text{ iff } (\text{Lev}(A), \text{Wei}(A)) > (\text{Lev}(B), \text{Wei}(B))$$

(弱い議論の比較)

$$A \succ B \text{ iff } (\text{Lev}(A), n(\text{Wei}(A))) < (\text{Lev}(B), n(\text{Wei}(B)))$$

ただし、 $n(x)$ は可能性論理における反転演算である。議論間の強弱が与えられると、それぞれの議論が主張として掲げる d の間の優先順位を求めることができる。優先順位の基準として、注意深い基準 (\triangleright_{caut}) と大胆な基準 (\triangleright_{bold}) が考えられる。それぞれ、以下のように定義される。

(注意深い基準)

$$d \triangleright_{caut} d' \text{ iff } \exists A \in AC \text{ with } \text{Conc}(A) = d'$$

$$\text{s.t. } \forall B \in AC \text{ with } \text{Conc}(B) = d, \text{ then } A \succ B$$

(大胆な基準)

$$d \triangleright_{bold} d' \text{ iff } \forall A \in AP \text{ with } \text{Conc}(A) = d' \\ \exists B \in AP \text{ s.t. } \text{Conc}(B) = d, \text{ then } B \succ A$$

2.2 設計意図の表現

ここで、議論に基づく決定モデルに基づき、議論学的設計意図モデルを導入する。議論学的設計意図モデルは決定モデル $\langle D, A, \Phi, \triangleright_{princ} \rangle$ により与える。このとき、 D は設計案の集合、 A は各設計案を支持あるいは反対する議論の集合、 \triangleright_{princ} は議論の集合を基準 $princ$ の元で評価したときに決まる設計案の優先関係である。ここで、議論についての順序関係 \succ が空集合 Φ となっていることに注意されたい。知識の必然性やゴールを考慮しないということはすなわち議論の間の順序関係が定まらないことと等価である。議論の順序関係がないことから、前節での議論の強弱に基づく決定の優先関係を与えることができない。代わりに、設計案を採用することで満たされるゴールの集合から設計案の優先関係を決める。

(注意深い基準)

$$d \triangleright_{cauti} d' \text{ iff } \text{Goals}_P(d) \supset \text{Goals}_P(d')$$

(大胆な基準)

$$d \triangleright_{bold1} d' \text{ iff } \text{Goals}_P(d) \subset \text{Goals}_P(d')$$

図 1 に下記に示す設計事例を設計意図として記述した例を示す。

問題：衛星にどのような種類のアンテナを搭載するか。

設計案：

1. パッチアンテナ (PA)
2. バックファイアヘリカルアンテナ (BFHA)

設計案についての情報：

1. PA は横方向のゲインの確保が難しい。
2. PA では、送受信に共用するのが難しい。
3. BFHA は軸方向のゲインは若干下がるが、横方向のゲインが保てる。
4. BFHA は 1 本で送受信の共用が可能である。
5. BFHA を搭載した場合の空力的姿勢安定への影響を調査する必要がある。

3. 設計事例データベース

本研究では、実際の設計事例の分析を通して得られた知見をもとに、設計意図記述を設計し、更にその結果えられた設計意図記述の枠組みをそこに適用することにより、提案手法の評価をおこなうというアプローチを採っている。

具体的には、国立天文台や東京大学中須賀研究室を中心に開発が進められている超小型人工衛星 Nano JASMINE の開発プロジェクトを対象に、設計事例の分析を進めている。Nano-JASMINE は 2010 年 8 月に打上げが予定されている 50cm 級の超小型位置天文観測衛星である*1。国立天文台が観測に用いる赤外線望遠鏡などから構成されるミッション部を担当し、東京大学中須賀研究室が電源、通信、姿勢制御などの人工衛星の基本的な機能を担うバス部を担当している。本研究では主にバス部の設計を対象に分析を進めている。バス部の開発は、航空宇宙工学専攻の修士課程および博士課程の学生を中心に約 15 人の体制でおこなわれている。

また、分析で得られた設計事例を蓄積し、利用可能にするために設計事例データベースシステムを構築している。

*1 <http://www.space.t.u-tokyo.ac.jp/nanojasmine/Index.htm> .

設計案: {pa, bfha}

ゴール:

- g1: wide_directional_pattern
- g2: share_tx_rx
- g3: aerodynamic_stability

知識ベース:

- r1: pa low_horizontal_gain
- r2: pa ¬ share_tx_rx
- r3: bfha wide_directional_pattern
- r4: bfha share_tx_rx
- r5: pa aerodynamic_stability
- r6: low_horizontal_gain ¬ wide_directional_pattern

議論:

- A1: pa : {r1, r6} : g1 : CON
- A2: pa : {r2} : g2 : CON
- A3: pa : {r5} : g3 : PRO
- A4: bfha : {r3} : g1 : PRO
- A5: bfha : {r4} : g2 : PRO
- A6: bfha : {} : g3 : CON_weak

図 1: 論証に基づく設計意図記述の例。

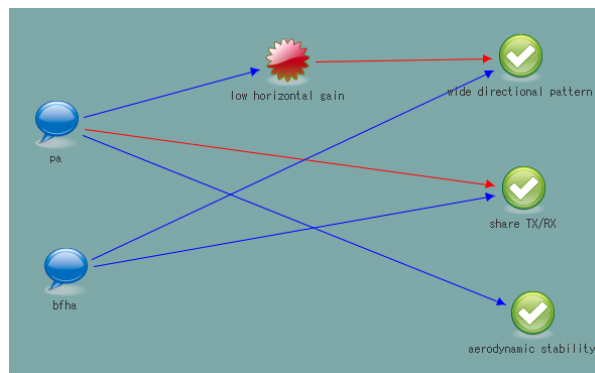


図 2: 設計事例データベースにおける設計意図のグラフ表示。

4. 設計意図記述のグラフ表現

形式的に設計意図を表現することにより、与えられたゴールの元での設計案の優劣の評価や、各設計案を支持あるいは反対する論証の妥当性の検証などといったことが可能になるが、一方で設計意図を記述するという作業の敷居が高くなる。この点は、日常の設計開発業務に追われている現場の開発者に使ってもらおうとする場合は、大きな障害となる。そこで、本研究では設計意図記述をグラフとして表現する方法を提案し、そのグラフをインタラクティブに操作するユーザインタフェースを提供することにより、設計意図記述に当たった負担の軽減を図る。

図 2 に、図 1 に対応する設計意図記述のグラフを示す。設計意図記述のグラフ表現は、3 種類のノードと、2 種類のエッジにより構成される。青色の吹き出し形は設計案ノード、緑色のチェックマーク入りの円はゴールノード、赤色の歯車形は議論ノードをそれぞれ表している。青色の有向エッジは起点ノードから終点ノードへの支持を、赤色の有向エッジは起点ノードから終点ノードへの反論を示す。このようなグラフ表現による編集を可能とすることにより、現場の設計者は図 1 のような形式的な表現を直接記述することなく、同等の論証構造を記述することが可能となる。

5. おわりに

本稿では、本研究で開発を進めている提案手法に基づく設計意図記述について、グラフ表現による編集が可能な設計事例データベースについて述べた。現場の設計者に設計意図を記述してもらうには、記述のコストをできるだけ下げることが重要である。今後は、設計意図の妥当性検証など、形式的な表現に基づく推論機能と統合した上で、システムのユーザ評価を通して、提案手法の有効性を確認していく予定である。

参考文献

- [Amgoud 06] Amgoud, L. and Prade, H.: Explaining Qualitative Decision Under Uncertainty by Argumentation, in *Proceedings of the 21st National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-06)*, pp. 219–224 (2006)
- [MacLean 96] MacLean, A., Young, R. M., Bellotti, V. M. E., and Moran, T. P.: Questions, Options, and Criteria: Elements of Design Space Analysis, in Moran, T. P. and Carroll, J. M. eds., *Design Rationale: Concepts, Techniques, and Use*, chapter 3, pp. 53–105, Lawrence Erlbaum Associates (1996)
- [Moran 96] Moran, T. P. and Carroll, J. M.: Overview of Design Rationale, in Moran, T. P. and Carroll, J. M. eds., *Design Rationale: Concepts, Techniques, and Use*, chapter 1, pp. 1–19, Lawrence Erlbaum Associates (1996)
- [加藤 09] 加藤 義清, 酒匂 信匡, 堀 浩一: 議論に基づく設計意図表現に向けた人工衛星設計の事例分析, 日本機械学会第 19 回設計工学・システム部門講演会講演論文集, No. 1104 (2009)