

設計プロセスモデリングの研究動向*

Research trend of design process modeling

野間口 大†

(Yutaka NOMAGUCHI)

1 はじめに

設計プロセスのモデリングは、設計プロセスを理解し、設計を合理的かつ効率的に行うための大前提である。中沢¹⁾が述べているように設計プロセスのモデリング手法として代表的なものがいくつか提案されており、実際に企業で活用されている例もある。しかしながら、設計プロセスは設計者の思考の中で暗黙的に進められているものであるため、そもそも明示化することが容易でなく、そのモデリング手法に関する研究は設計工学分野における重要なトピックの一つとなっている。

本稿では、設計工学分野における代表的な国際会議である米国機械学会 (ASME) の International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (DETC & CIE) において、過去 5 年間 (2001~2005 年) に発表された論文の分析をもとに、設計プロセスモデリングの研究動向を探ることとする。

2 設計プロセスモデリングのアプローチ

設計を含む人間の創造行為は一般に試行錯誤の反復 (iteration) を通じて行われると言われる²⁾。設計プロセスのモデリングを行う際には、この設計における反復の取り扱いが重要となる。

反復と一口に言ってもその内容は様々であり、研究者によりその捉え方は異なる。それらが大別すれば、タスクと呼ばれる単位での反復 (task iteration) と、設計者の内部で行われている思考の反復 (mental iteration) に分類することができる³⁾。

前者の反復は、設計結果がある確立された評価基準を満たさない場合や、状況が変化して設計をやり直す場合に起こるものであり、この見方に立てば無駄な反復の削減および適切な管理が設計の向上につながるこ

ととなる⁴⁾。

一方、後者の反復は、タスクの内容が明確でない場合にそれを明確にしていく設計者の意思決定の活動と捉えられる。この種の反復は一般に暗黙的であり、客観的な観察が困難なため、その理解を目的とした各種の設計プロトコル解析に基づく研究が行われている。例えば武田らの分析⁵⁾によれば設計者は思考の反復を通じて問題を明確化したり問題に対するアイデアを生成し、より良い設計解を得る努力をしていることが明らかになっている。また、Adams らが大学生に対して行った実験によれば、知識の少ない学部課程 1 年生よりも知識の豊富な大学院生の方が思考の反復を数多く行い、その回数と設計解の品質との間には正の相関が見られるという⁶⁾。つまりタスクの反復とは対照的に思考の反復は設計過程において積極的な役割を果たしており、むしろ効果的に反復を行うことが設計において重要であると考えられることができる。

研究アプローチを分類するもう一つの軸として、モデリングの目的が挙げられる。設計プロセスモデリングの目的の一つは、設計のマネージャーが設計プロセスを計画し、その遂行を管理するための支援手法を開発することである。この種の試みは主にアメリカを中心に行われているプロジェクトマネジメント研究の中に見ることができ、例えば、プロジェクトマネジメント協会が策定した PMBOK (Project Management Body of Knowledge)⁷⁾ のように企業で採用されて始めているものもある。

一方で、設計の根拠や設計の過程で用いられる様々な知識の共有および再利用を試みる研究も盛んである⁸⁾。これらは実際に設計プロセスを行う設計者を支援するための手法の開発を目的としている。

理論的には 2 つの分類軸は独立であるが、実際には、手法の目的と、着目する反復の詳細度との間には相関があると考えられる。例えば、設計プロセスを計画し、その管理を行う観点からは、タスクの反復に着目する

*原稿受付 2006 年 12 月 4 日

†大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻

(〒 565-0871 吹田市山田丘 2-1)

表 1 2001～2005 年に ASME DETC & CIE で発表された設計プロセスモデリングに関連する論文

	モデリング手法	反復の詳細度	目的
Yoshimura, <i>et al.</i> 01 ⁹⁾	状態遷移	思考	設計支援
Yoshioka, <i>et al.</i> 01 ¹⁰⁾	状態遷移	思考	設計支援
Kurakawa, 01 ¹¹⁾	機能	思考	設計支援
Hayes, <i>et al.</i> 01 ¹²⁾	状態遷移	思考	設計支援
Hoffman, <i>et al.</i> 01 ¹³⁾	IDEF0	タスク	設計支援
Cho, <i>et al.</i> 01 ¹⁴⁾	DSM	タスク	設計プロセス計画
Yassine, <i>et al.</i> 01 ¹⁵⁾	DSM	タスク	設計プロセス計画
Earl, <i>et al.</i> 01 ¹⁶⁾	IDEF0	タスク	設計プロセス計画
Melo, <i>et al.</i> 02 ¹⁷⁾	DSM, Gantt チャート	タスク	設計プロセス計画
Jarrett, <i>et al.</i> 02 ¹⁸⁾	状態遷移	タスク	設計プロセス計画
Hoehn, <i>et al.</i> 03 ¹⁹⁾	IDEF0	タスク	設計支援
Lu, <i>et al.</i> 03 ²⁰⁾	IDEF0	タスク	設計プロセス計画
Chao, <i>et al.</i> 03 ²¹⁾	QFD	タスク	設計プロセス計画
Sunnersjö, <i>et al.</i> 03 ²²⁾	DSM	タスク	設計支援
Kobayashi, <i>et al.</i> 03 ²³⁾	議論	思考	設計支援
V. E. Hommes, <i>et al.</i> 03 ²⁴⁾	DSM	タスク	設計プロセス計画
Nilsson, <i>et al.</i> 03 ²⁵⁾	DSM, IDEF0	タスク	設計支援
Aurischio, <i>et al.</i> 03 ²⁶⁾	議論	思考	設計支援
Zhao, <i>et al.</i> 03 ²⁷⁾	状態遷移	タスク	設計支援
Nowak, <i>et al.</i> 03 ²⁸⁾	機能	思考	設計支援
Zha, <i>et al.</i> 03 ²⁹⁾	IDEF0, 意思決定木	思考	設計支援
Chao, <i>et al.</i> 03 ³⁰⁾	QFD	タスク	設計プロセス計画
Ostergaard, <i>et al.</i> 04 ³¹⁾	IDEF0	タスク	設計プロセス計画
Zhuang, <i>et al.</i> 04 ³²⁾	DSM	タスク	設計プロセス計画
Guenov, <i>et al.</i> 04 ³³⁾	DSM, QFD	タスク	設計プロセス計画
Olewnik, <i>et al.</i> 04 ³⁴⁾	ワークフロー	タスク	設計支援
Chusilp, <i>et al.</i> 04 ³⁵⁾	IDEF0	思考	設計支援
O'Donovan, <i>et al.</i> 04 ³⁶⁾	状態遷移	タスク	設計プロセス計画
Nomaguchi, <i>et al.</i> 04 ³⁷⁾	議論, 状態遷移	思考	設計支援
Panchal, <i>et al.</i> 04 ³⁸⁾	IDEF0	タスク	設計プロセス計画
Chao, <i>et al.</i> 04 ³⁹⁾	QFD	タスク	設計プロセス計画
Xue, <i>et al.</i> 05 ⁴⁰⁾	状態遷移, 機能	思考	設計支援
Chen, <i>et al.</i> 05 ⁴¹⁾	ワークフロー	タスク	設計支援
Li, <i>et al.</i> 05 ⁴²⁾	IDEF0	思考	設計支援
Chao, <i>et al.</i> 05 ⁴³⁾	GATE	タスク	設計プロセス計画
Ko, <i>et al.</i> 05 ⁴⁴⁾	ワークフロー	タスク	設計プロセス計画
Wynn, <i>et al.</i> 05 ⁴⁵⁾	状態遷移	タスク	設計プロセス計画
Panchal, <i>et al.</i> 05 ⁴⁶⁾	IDEF0	タスク	設計プロセス計画
Choi, <i>et al.</i> 05 ⁴⁷⁾	IDEF0	タスク	設計支援
Vajna, <i>et al.</i> 05 ⁴⁸⁾	IDEF0	タスク	設計プロセス計画
Krus, 05 ⁴⁹⁾	IDEF0	タスク	設計支援
Yang, <i>et al.</i> 05 ⁵⁰⁾	意思決定木	タスク	設計プロセス計画

年度別, 論文番号順.

ことになる。一方で、設計支援あるいは知識の共有・再利用の観点からは、より詳細な意思決定の粒度での設計プロセスが必要であることから、思考の反復に着目することになる。

3 ASME DETC & CIE における研究動向

3.1 調査方法

本稿では、ASME DETC & CIE において過去 5 年間に発表された設計プロセスモデリングに関する論文を調査し、その研究動向を探ることとする。調査

にあたっては、Elsevier 社の Science Direct Navigator Compendex データベースを利用した。まず、全ての発表論文のうち、アブストラクト、本文、キーワードに design process または process modeling を含むものを検索した。この中には、明示的に設計プロセスモデルを扱っていないものや、生産プロセスに関するものも多数含まれていたため、論文の内容を確認し、本稿の主題と関連ある 42 本の論文を絞り込んだ。最終的に絞り込まれた論文を表 1 に示す。

これらの論文を、その研究アプローチに基づいて分類した。まず、反復の詳細度について、タスクの反復に着目したものと思考の反復に着目したものに分類した。タスクの反復と思考の反復の区別が明示的でないものもあるが、本稿では論文著者の意図を尊重し、論文中で設計プロセスの反復のことを明示的に task と呼んでいるものは前者に分類し、そうでないものを後者とした。

次に、モデルの使用目的について、各論文のアブストラクトや序論に記述された内容を調べ、設計プロセス計画を目的としたものと設計支援を目的としたもののそれぞれに分類した。

3.2 研究アプローチの傾向

設計プロセスモデリングに関する年度別の論文数を表 2 に示す。この 5 年間で、設計プロセスモデリングに関する研究は毎年ほぼ 10 件前後が発表されている。

目的に関しては、設計プロセス計画と設計支援が同数であった。一方で、反復の詳細度に関しては、タスクの反復に着目したものが、思考の反復に着目したものの約 3 倍に上ることが分かった。これは、思考の反復と比べ、タスクの反復の方が明示的で把握しやすいからではないかと思われる。

反復の詳細度とモデリングの目的との相関に関しては、大まかには前章での考察通りに、タスクの反復は設計プロセス計画を目的とした研究で、思考の反復は設計支援を目的とした研究で用いられている傾向がある。研究目的別に見ると、設計プロセス計画を目的とした研究ではタスクの反復に着目したモデルのみが見られ、思考の反復に着目したモデルは用いられていない。一方、設計支援を目的とした研究においては、タスクの反復に着目したモデルと思考の反復に着目したモデルがほぼ同程度に利用されている。

3.3 手法の利用傾向

次に、アプローチ別にどのモデリング手法が用いられているかを調査した。表 3 にその結果を示す。各手法の詳細については中沢¹⁾が詳しく述べているので本稿では省略する。代表的なモデリング手法のほか、様々

表 2 年度別の論文数と研究アプローチの傾向

年度	タスク		思考		計
	計画	設計支援	計画	設計支援	
2001	3	1	0	4	8
2002	2	0	0	0	2
2003	4	4	0	4	12
2004	6	1	0	2	9
2005	6	3	0	2	11
計	21	9	0	12	42

表 3 モデリング手法の利用傾向

手法	タスク		思考		計
	計画	設計支援	計画	設計支援	
IDEF0	6	5	0	3	14
状態遷移	3	1	0	5	9
DSM	6	2	0	0	8
QFD	4	0	0	0	4
ワークフロー	1	2	0	0	3
機能	0	0	0	3	3
議論	0	0	0	3	3
意思決定木	1	0	0	1	2
GATE	1	0	0	0	1
Gantt チャート	1	0	0	0	1

な亜種が見られたが、集計するにあたっては代表的な手法に集約するようにした。具体的には、設計プロセスにおける情報などの入出力関係を明示的に扱っているものは全て IDEF0 に、入出力関係が明示的でないものはワークフローモデルに分類した。また、状態遷移図には、ペトリネット、マルコフ鎖などを含めた。

なお表 3 では、一つの論文で複数のモデリング手法が用いられている場合は重複して数えているため、表 2 と表 3 とで論文総数は一致しない。

これによると、DSM、QFD、ワークフローモデルなどは、タスクの反復を表現する手法としてよく用いられ、機能モデル、議論モデルは思考の反復を表現する手段として用いられる傾向が明確になっている。一方、IDEF0、状態遷移図はタスクの反復と思考の反復のいずれの記述にも用いられていることが分かる。IDEF0 は情報の入出力関係によって設計プロセスを表現する手法、状態遷移図は設計情報の変化の履歴によって設計プロセスを表現する手法であるが、これらは反復の詳細度によらず比較的容易に把握できるからではないかと考えられる。

研究目的別に見てみると、機能モデル、議論モデルは設計支援のために用いられることが多く、設計プロセス計画にはほとんど用いられていない。これらの手

法は詳細なレベルでの思考の反復を記述する手法であるが、その粒度が設計プロセス計画の対象としてはなじみにくいからではないかと考えられる。一方で、**IDEF0**、状態遷移図、**DSM**、**QFD**、ワークフローモデルは設計プロセス計画、設計支援の両方の目的でよく用いられている。

4 個別の研究動向

次に、研究目的別に各論文の内容を調査し、より詳細に研究動向を探る。

4.1 設計プロセス計画

設計プロセスを計画するためには、まず設計プロセスにおける反復を可視化することが必要である。反復の可視化に用いられる手法としては **IDEF0**^{16), 20), 38), 46), 48)}、ワークフローモデル^{34), 44)}、**DSM**^{24), 33)}、**GATE**⁴³⁾が用いられている。可視化することに加え、設計プロセス計画案を評価し、最適な計画を得るための手法についての研究も行われている。Zhuangらは **DSM** を用いて設計プロセスを可視化した上で、各タスクの実行時間を考慮し、遺伝的アルゴリズムを用いて設計プロセス全体の実施期間が最小となる計画案を探索する手法を提案している³²⁾。

一方で設計プロセスの評価を行うためには、その実施期間やその結果得られる設計品質などに不確実性が伴うため、それらをどのように予測するかが本質的な問題となる。ChaoとIshiiは、**Design Task QFD** と呼ばれる二元表を用いて各種のリスク要因とタスクとの関係を明示的に把握した上で、各タスクに対して予想されるリスクの大きさを見積もる手法を提案している^{21), 30), 39)}。Ostergaardは、設計プロセスにおける情報の流れを電気回路のアナロジーのもとで考え、情報伝達の障害要因を電気抵抗に対応付けて設計プロセス全体の情報伝達効率を評価する手法を提案している³¹⁾。Yangらは、意思決定木による利得評価を用いて設計プロセス計画案の評価を行う手法を提案している⁵⁰⁾。

これに対し、定量的な評価のためのより詳細なモデルを導入し、何らかのシミュレーションを実施する手法も提案されている。ChoとEppinger¹⁴⁾、およびYassineら¹⁵⁾は、**DSM**を用いて設計プロセスにおける反復の所在を明確にした上で、反復の発生を確率的要因と捉え、タスクの内容を考慮してそれぞれの反復に発生確率(rework probability)を定義し、シミュレーションにより設計プロセス全体の実施期間を見積もる手法を提案している。

また、Clarksonらのグループでは、マルコフ鎖の状態遷移図を利用した **Signposting** と呼ぶ手法を提案し

ている^{17), 18), 36), 45)}。この手法では、設計局面の遷移を設計パラメータの値の遷移として表現し、タスクはあるパラメータの値を変化させるプロセスの単位として定義される。一つのタスクから推移する複数の局面のそれぞれに推移確率が定義され、シミュレーションを通じて、設計プロセス全体の期間やコスト、設計品質およびそれらの分布を評価することができる。

このようなシミュレーションを用いた評価手法においては、タスクの反復が発生する要因についての何らかのモデルを必要とする。その意味では、リワーク確率や **Signposting** に関する研究はタスクを実行する過程で設計者が行っている思考の反復に近いレベルでのモデルを構築する試みであると考えられる。表2に示すとおり、設計プロセス計画を目的とする研究で明示的に思考の反復を取り扱っているものは今のところ見られないが、定量的な評価の観点からはその方向での研究の展開も必要ではないかと考えられる。

4.2 設計支援

知識マネジメントの観点からは、製品情報とともにその設計プロセスを記録し、その再利用を通じて設計者を支援するシステムの開発が行われている。この目的においてもタスクの反復のレベルでの設計プロセスの可視化が行われており、**IDEF0** および **DSM** を利用した知識マネジメントシステムの研究事例が多数見られる^{13), 19), 22), 25), 47)}。

一方、思考の反復のレベルでのより詳細な設計プロセスの記述は、設計根拠の獲得に焦点を当てた研究で採用されている。形状情報や機能情報など様々な製品情報の変遷を管理する統合 **CAD** システム^{10), 12)}、設計プロセスにおいて設計者が検討した問題と複数の代替案の構造を記録するシステム^{26), 28)}、両者のアプローチを統合したシステム^{37), 40)}などが見られる。これらの研究においては、設計プロセスをできるだけ設計者の負担なく獲得することが課題となっている。

複数の設計者が参加して進められる協調設計においても、設計者間での意思疎通を円滑にするために設計プロセスの可視化が有効であり、その支援システムに関する研究も見られる^{27), 29), 41)}。このほか、設計支援手法の開発を目的として設計事例の分析を行うために設計プロセスモデルを利用している例もある^{9), 11), 35), 42), 49)}。

5 さいごに

本稿では、**ASME DETC & CIE** において2001年から2005年に発表された論文の分析をもとに、設計プロセスモデリングの研究動向を探った。研究アプロー

チの分類軸として、研究目的と反復の詳細度を設定し、それぞれのアプローチで利用されている手法を調査するとともに、個別の研究課題について調査した。設計プロセスは設計者の思考の中で暗黙的に進められているものであるため、そもそも明示化することが容易でない。この点に関して言えば、タスクレベルでの設計プロセスの記述はやや明示的であるため扱いやすく、本稿の分析でも、このアプローチを採用している研究者が多いことが明らかになっている。

しかしタスクレベルでの反復をより正確に把握するためには、タスクの中で行われている思考レベルでの反復を把握する必要がある。この問題に取り組む試みだが、設計プロセス計画の目的においては評価のためのシミュレーションの研究などに、設計支援の目的においては設計根拠獲得の研究などに見られ、今後の展開が期待される。

参考文献

- 1) 中沢俊彦：設計プロセスのモデリングと可視化，設計工学, 42, 4 (2007).
- 2) Simon, H. A. : The Sciences of the Artificial, The MIT Press, (1969). [邦訳: ハーバート・A・サイモン (稲葉元吉, 吉原英樹訳): システムの科学, パーソナルメディア, (1999).]
- 3) Chusilp, P., and Jin, Y. : Impact of Mental Iteration on Concept Generation, Trans. ASME, J. Mech. Design, 128, 1 (2006), pp. 14-25.
- 4) Smith, R. P., and Eppinger, S. D. : Identifying Controlling Features of Engineering Design Iteration, Management Science, 43, 3 (1997), pp. 276-293.
- 5) 武田英明, 富山哲男, 吉川弘之 : 知的CADの開発のための設計過程の分析と論理による形式化, 精密工学会誌, 57, 6 (1991), pp. 1047-1052.
- 6) Adams, R. S., Turns, J., and Atman, C. J. : Educating Effective Engineering Designers: The Role of Reflective Practice, Design Studies, 24, 3 (2003), pp. 275-294.
- 7) プロジェクトマネジメント知識体系ガイド (PMBOK ガイド) 第3版, (2005), プロジェクトマネジメント協会 (PMI).
- 8) Moran, T. P. and Carroll, J. M. : Design Rationale – Concepts, Techniques, and Use, (1996), Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- 9) Yoshimura, M. and Horie, S. : Aesthetic Design of Machine Systems using Evaluation Maps, Proc. ASME 2001 DETC & CIE, (2001), DETC2001/DAC-21154.
- 10) Yoshioka, M., Nomaguchi, Y. and Tomiyama, T. : Proposal of an Integrated Design support Environment based on the Model of Synthesis, Proc. ASME 2001 DETC & CIE, (2001), DETC2001/DAC-21155.
- 11) Kurakawa, K. : A Conceptual Design Information Structure and its Formation Process based on Protocol Analysis of the Design Meeting in CAD Models Which Affect Interoperability, Proc. ASME 2001 DETC & CIE, (2001), DETC2001/DTM-21226.
- 12) Hayes, E. E. and Regli, W. C. : Integrating Design Process Knowledge with CAD Models, Proc. ASME 2001 DETC & CIE, (2001), DETC2001/CIE-21247.
- 13) Hoffman, T. J., Shooter, S. B., Szykman, S. and Fenves, S. J. : An Investigation of Catalogued Product Development Information at a Major Consumer Products Company, Proc. ASME 2001 DETC & CIE, (2001), DETC2001/DTM-21690.
- 14) Cho, S. H. and Eppinger, S. D. : Product Development Process Modeling using Advanced Simulation, Proc. ASME 2001 DETC & CIE, (2001), DETC2001/DTM-21691.
- 15) Yassine, A. A., Whitney, D. E. and Zambito, T. : Assessment of Rework Probabilities for Simulating Product Development Processes using the Design Structure Matrix (DSM), Proc. ASME 2001 DETC & CIE, (2001), DETC2001/DTM-21693.
- 16) Earl, C. F., Eckert, C. M. and Johnson, J. H. : Complexity of Planning in Design, Proc. ASME 2001 DETC & CIE, (2001), DETC2001/DTM-21697.
- 17) Melo, A. F. and Clarkson, P. J. : Planning and Scheduling based on an Explicit Representation of the State of the Design, Proc. ASME 2002 DETC & CIE, (2002), DETC2002/DTM-34008.
- 18) Jarrett, J. P., Clarkson, P. J. and Dawes, W. N. : Improving Turbomachinery Design Process management, Proc. ASME 2002 DETC & CIE, (2002), DETC-2002/DTM-34015.
- 19) Hoehn, B. R., Steingroever, K. and Jaros, M. : Product Model for Gear Units, Proc. ASME 2003 DETC & CIE, (2003), DETC2003/PTG-48049.
- 20) Lu, B. and Gu, P. : Systematic Life Cycle Design for Sustainable Product Development, Proc. ASME 2003 DETC & CIE, (2003), DETC2003/DFM-48141.
- 21) Chao, L. P. and Ishii, K. : Design Process Error-

- proofing: Failure Modes and Effects Analysis of the Design Process, Proc. ASME 2003 DETC & CIE, (2003), DETC2003/DFM-48146.
- 22) Sunnersjö, S., Rask, I. and Amen, R. : Requirement-driven Design Processes with Integrated Knowledge Structures, Proc. ASME 2003 DETC & CIE, (2003), DETC2003/CIE-48218.
 - 23) Kobayashi, M., Yoshimura, M., Nishiwaki, S. and Izui, K. : A Method for Supporting Creative Interaction During Collaborative Design Processes, Proc. ASME 2003 DETC & CIE, (2003), DETC2003/CIE-48223.
 - 24) Van Eikema Hommes, Q. D. and Whitney, D. E. : The Predictability of System Interactions at Early Phase of the Product Development Process, Proc. ASME 2003 DETC & CIE, (2003), DETC2003/DTM-48635.
 - 25) Nilsson, P. and Fagerström, B. : Integrated Product and Process Modeling, Proc. ASME 2003 DETC & CIE, (2003), DETC2003/DTM-48656.
 - 26) Aurisicchio, M., Bracewell, R. H. and Wallace, K. M. : A Design Data Model to Support Rationale Capture and Functional Synthesis, Proc. ASME 2003 DETC & CIE, (2003), DETC2003/DTM-48672.
 - 27) Zhao, L. and Jin, Y. : Work Structure based Collaborative Engineering Design, Proc. ASME 2003 DETC & CIE, (2003), DETC2003/DTM-48681.
 - 28) Nowak, P., Eynard, B. and Roucoules, L. : A Design Alternatives Assessment and Management Approach, Proc. ASME 2003 DETC & CIE, (2003), DETC2003/DAC-48746.
 - 29) Zha, X. F., Sriram, R. D. and Lu, W. F. : Knowledge Intensive Collaborative Decision Support for Design Process, Proc. ASME 2003 DETC & CIE, (2003), DETC2003/DAC-48747.
 - 30) Chao, L. P. and Ishii, K. : Design Process Error-proofing: Development of Automated Error-proofing Information Systems, Proc. ASME 2003 DETC & CIE, (2003), DETC2003/DAC-48786.
 - 31) Ostergaard, K. J., Summers, J. D. and Fadel, G. : Resistance based Modeling of Collaborative Design, Proc. ASME 2004 DETC & CIE, (2004), DETC2004-57076.
 - 32) Zhuang, M. and Yassine, A. A. : Task Scheduling of Parallel Development Projects using Genetic Algorithms, Proc. of ASME 2004 DETC & CIE, (2004), DETC2004-57159.
 - 33) Guenov, M. D. and Barker, S. G. : Requirements-driven Design Decomposition: A Method for Exploring Complex System Architecture, Proc. ASME 2004 DETC & CIE, (2004), DETC2004-57287.
 - 34) Olewnik, A., Lewis, K. and Hammil, M. S. : Education and Implementation of an Approach for New Product Design: An Industry-University Collaboration, Proc. ASME 2004 DETC & CIE, (2004), DETC2004-57320.
 - 35) Chusilp, P. and Jin, Y. : Cognitive Modeling of Iteration in Conceptual Design, Proc. ASME 2004 DETC & CIE, (2004), DETC2004-57521.
 - 36) O'Donovan, B., Eckert, C. and Clarkson, P. J. : Simulating Design Processes to Assist Design Process Planning, Proc. ASME 2004 DETC & CIE, (2004), DETC2004-57612.
 - 37) Nomaguchi, Y., Ohnuma, A. and Fujita, K. : Design Rationale Acquisition in Conceptual Design by Hierarchical Integration of Action, Model and Argumentation, Proc. ASME 2004 DETC & CIE, (2004), DETC2004-57681.
 - 38) Panchal, J. H., Fernandez, M. G., Paredis, C. J. J., Allen, J. K. and Mistree, F. : Designing Design Processes in Product Lifecycle Management: Research Issues and Strategies, Proc. ASME 2004 DETC & CIE, (2004), DETC2004-57742.
 - 39) Chao, L. P. and Ishii, K. : Design Process Error-proofing: Project Quality Function deployment, Proc. ASME 2004 DETC & CIE, (2004), DETC2004-57772.
 - 40) Xue, D., Yang, H. and Tu, Y. L. : Modeling of Evolutionary Design Database, Proc. ASME 2005 DETC & CIE, (2005), DETC2005-84956.
 - 41) Chen, Z. and Siddique, Z. : A Cooperative-Collaborative Design System for Multi-disciplinary Mechanical Design, Proc. ASME 2005 DETC & CIE, (2005), DETC2005-85005.
 - 42) Li, W. and Jin, Y. : Automated Concept generation: A Co-evolutionary Approach, Proc. ASME 2005 DETC & CIE, (2005), DETC2005-85125.
 - 43) Chao, L. P. and Ishii, K. : Design Process Error-proofing: Benchmarking Gate and Phased Review Life-cycle Models, Proc. ASME 2005 DETC & CIE, (2005), DETC2005-84235.
 - 44) Ko, K. H., Yu, C., Pochiraju, K. and Manoochehri, S. : Analysis of Information Complexity during Product Development, Proc. ASME 2005 DETC &

- CIE, (2005), DETC2005-85284.
- 45) Wynn, D., Clarkson, P. J. and Eckert, C. : A Model-based Approach to Improve Planning Practice in Collaborative Aerospace Design, Proc. ASME 2005 DETC & CIE, (2005), DETC2005-85297.
 - 46) Panchal, J. H., Choi, H. J., Shepherd, J., Allen, J. K., McDowell, D. L. and Mistree, F. : A Strategy for Simulation-based Design of Multiscale, Multi-Functional Products and Associated' Design Processes, Proc. ASME 2005 DETC & CIE, (2005), DETC2005-85316.
 - 47) Choi, H. J., Allen, J. K., Rosen, D., McDowell, D. L. and Mistree, F. : An Inductive Design Exploration Method for the Integrated Design of Multi-scale Materials and Products, Proc. ASME 2005 DETC & CIE, (2005), DETC2005-85335.
 - 48) Vajna, S., Guo, H. and Schabacker, M. : Optimize Engineering Processes with Simultaneous Engineering (SE) and Concurrent Engineering (CE), Proc. ASME 2005 DETC & CIE, (2005), DETC2005-84389.
 - 49) Krus, P. : An Information Theoretical on Performance, Refinement and Cost, Proc. ASME 2005 DETC & CIE, (2005), DETC2005-85403.
 - 50) Yang, T. G., Ishii, K. and Karandikar, H. : Decision Analysis Approach for Improving Product Development Decision Quality: An Interactive Simulation Game Showcase, Proc. ASME 2005 DETC & CIE, (2005), DETC2005-85598.