

Title	情報通信機器企業における設計開発知の成長モデル
Author(s)	山下, 智規; 杉原, 太郎; 小坂, 満隆; 井川, 康夫
Citation	年次学術大会講演要旨集, 25: 751-756
Issue Date	2010-10-09
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/9403
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

情報通信機器企業における設計開発知の成長モデル

○山下智規, 杉原太郎, 小坂満隆, 井川康夫 (北陸先端科学技術大学院大学)

1. はじめに

近年の ICT 社会を支えるコンピュータ、ストレージ、携帯電話などの各種情報通信機器・システムは、急激な技術革新と顧客の要望の多様化により、年々高度化・複雑化してきた。ところが、現実の設計開発現場では規模や性能の向上に生産性が追い付いていない。2000 年に JEITA SLD(System Level Design)研究会が、日本の各企業の LSI 設計者に実施した設計に関する問題アンケートによると、設計遅延を引き起こす設計変更の発生原因の半分近くが、設計者(部門)間の仕様の理解ミス、曖昧な仕様の記述による誤解釈であったと報告されている。EDA Tech Forum 2009 において、米国 Mentor Graphics 社からは、LSI 開発プロジェクトの 66%は計画より遅延しているとの調査結果が報告された。現在の情報通信機器の設計開発には、多くの設計者が関与し、そこでは高度な知識の創造、獲得、移転が行われていると考えられる。JEITA による調査結果は、仕様理解ミスの発生は設計開発知識獲得や知識移転に問題があり、仕様が曖昧に記述されるのは各々の部門で創造された知識の形式化が不十分であったことに起因することを示唆している。現在でも設計開発プロジェクトに遅延が多い事実は、未だにそれらの問題が解決に至っていない可能性を示している。

本研究では、現在の情報通信機器開発企業での機器開発において、設計者の知識獲得、移転、共有状況を明らかにし、企業組織内での設計開発知の成長モデルの構築と開発改善に結びつく実践的な提案を行うことを目的とする。

2. リサーチクエスションと研究方法

本研究のリサーチクエスションは以下のとおりである。

MRQ：情報通信機器企業での設計開発と設計開発知はどのような関係か？

SRQ1：設計者達はどのように設計開発知識を獲得、移転、共有しているか？

SRQ2：設計開発における知識獲得、移転、共有の課題・工夫は何か？

本研究は、サーベイと事例研究を併用した。第一著者の所属する企業内の LSI 設計者へのアンケートと何名かの設計者へのインタビューを行い、設計開発現場での課題や工夫などを考察する。

3. 関連研究

情報通信機器の設計開発に関する知識は、大別すると次の 3 種類に分類できる。

- 開発製品に関する知識：顧客要求、製品知識、競合他社の状況などの市場動向など
- 設計技術に関する知識：通信プロトコルなどのシステム方式知識、アルゴリズムなどの動作原理を実現する電子回路知識、電磁波やノイズなど電気物理知識、設計方法・試験方法・設計言語などの設計手法知識、開発に利用するツールや機器などの設計環境知識など
- 設計開発マネジメントに関する知識：開発手順や管理方法などの開発体系知識、開発チーム編成や進捗管理などプロジェクト運営の知識など

次に設計方法の研究に関してレビューする。「はじめに」に記したように、この 10 数年で電子機器は急激に進歩した。山本(2010)によると、2000 年以前に比べて現在の LSI 設計では、デバイス固有の専用回路、専用 IP マクロ、制約事項、組み込みプロセッサなど、かつてそれほど必要としなかった知識を考慮しなければならないと説明している。ハードウェア記述言語とシミュレーションによる LSI の機能確認・検証する方法(鳥海 1996)は 1990 年代に一般的に普及した。現在の情報通信機器は顧客要望に柔軟に対応するため、ハードウェアのみならずソフトウェアを含めたシステム全体の設計の重要性が高まっている。JEITA SLD 研究会から(2001)はシステム記述言語や設計フローを、周東ら(2003)は UML のハードウェア設計への適用を、桜井(2007)はソフトウェアとハードウェアを併用した設計方法を紹介している。

次に設計フローに関する議論を見てみる。新しい設計手法の提案は、従来の設計工程(開発フロー)の変更を伴うことが多い。山田(2004)は、ソフトウェア開発フローとは、問題領域の知識を実行可能な知識に変換する作業工程であると定義した。ソフトウェアに限らず、ものづくりには開発から完了までにある程度定式化された手順が存在する。以前から設計開発の効率化のために多くの開発工程モデルが提案、発表されてきた。Royce(1970)は、開発工程を水が上から下に流れるようにウォーターフォール型の開発工程モデルを発表した。Bohem(1988)は、開発変更に対応しやすいよう初期計画から開発完了までに分析・設計・実装・テストを繰り返すスパイラル型の開発工程モデルを発表した。オブジェクト指向開発で著名なラショナル社(現 IBM)からは、1998 年に設計各工程に重みをつけスパイラルに回すラショナル統一プロセスと呼ぶ開発モデルが発表されている。

そして、知識獲得、移転、蓄積、共有等に関する研究をレビューする。組織内の知識獲得や移転について、野中ら(1996)は、組織内での知識は共同化→表出化→連結化→内面化の過程を経て成長し、認識的次元と存在論的次元の中でスパイラルに成長すると結論付けた。ディクソン(2003)は、知識移転の分類を、「連続、近接、遠隔、戦略、専門」の 5 つに分類し、知識共有が成功している企業では、知識移転のモデルは、専門家による一方的な移転からチーム間相互による移転するスタイルであると報告している。ミルトン(2009)は、プロジェクト内の知識獲得と蓄積、共有は、プロジェクト開始前のピアアシスト、実施中のピアレビュー、完了後のレトロスペクティブ(振り返り)により行われるとした。また、プロジェクトチーム内で獲得した知識は、プロジェクト横断組織によりベストプラクティスとして抽出され、それが企業標準になり、再びプロジェクトチームで利用される知識の再利用サイクルモデルも発表している。中林ら(2005)は LSI 開発・検証に必要な知識と情報を分類し、トピックマップと呼ぶ方法を用いてノウハウおよびノウフー管理が行える組織知データベースの構築を提案した。

4. 調査概略および結果

先行研究調査および現在の設計開発状況から、次の仮説を立てた。

仮説 1：設計開発知は開発組織内の開発プロセス活動に従って成長する。

仮説 2：成長速度は組織(または開発対象)が拡大するにつれて遅くなる。

仮説 3：設計が複雑になるほど開発知識が属人化・暗黙知化しやすくなる

仮説 4：技術進歩の速さが獲得した暗黙知の形式知化を妨げる。知識が形式知化されにくく組織内は暗黙知での知識共有が多くなる。

仮説検証のため、第一著者の属する企業内 4 拠点の LSI 設計者 71 名に設計現場での①知識獲得②知識移転③知識共有を問うアンケートと 4 名のリーダクラスの設計者へのインタビューを実施した。なおアンケートでは回答基準と選択肢を合わせるため、あらかじめ数名に予備調査を実施している。回答者の属性は次の通りである。

全 71 名(部門 A：18 名 部門 B：15 名 部門 C：10 名 部門 D：28 名)

開発チーム規模：平均 8.4 名/1 チーム(最小 1 名、最大 30 名、標準偏差 6.44)

設計開発経験：3 年以下 6 名、4～6 年 11 名、7～9 年 10 名、10～15 年 24 名、16 年以上 18 名

4.1 知識獲得

開発に大きく影響する設計手法や設計言語等の新知識獲得状況や獲得源、獲得手段について過去 1 年間に LSI 設計開発に関する新知識を獲得したと回答した設計者は 49 名(69%)であった。

(1)獲得知識種別

獲得知識の内訳は、設計手法 18 名、検証手法 36 名、設計言語 25 名、設計開発ツール 11 名、設計事例 4 名であった(図 1)。現在の設計は、規模の拡大と機能の複雑化が原因で検証工程が長期化する傾向にある。そのため、検証工数の短縮が大きな課題となっており、多くの設計者が検証工程の改善に注意を払っていること、設計に関する 세미나や関連する学会等の発表でも検証手法の発表が多いことから、検証に関する技術や情報に触れる機会が多く、これらに関する知識獲得が多いと考えられる。

(2)知識獲得源

知識獲得源は、セミナー 35 名(社内 20 名、社外 15 名)、Web サイト 24 名(社内 5 名、社外 19 名)、専門書 17 名、社内会議 11 名、設計事例 10 名、日常会話 8 名、ガイドライン 7 名であった。設計経験年齢別の知識獲得源を表 1 に示す。アンケートの結果からは、セミナーでの新知識の獲得源は設計経験が比較的多い設計者が、またガイドラインや設計資料、会話からは設計経験が少ない設計者の割合が高いことが示された。インタビューでは、ガイドラインには基本知識、設計資料には過去の設計知識が記載さ

れており、設計経験が少なく知識の乏しい設計者が知識獲得するには都合がよいと報告された。また、逆に社外セミナーでは、設計ツールベンダーによる新ツール説明会など新技術を組織に広める立場の設計者向けや既にある程度の知識を獲得している設計者を対象としたものが多く、設計経験の豊富な設計者が参加するとの報告から獲得回答が偏ったと考えられる。

表 1 設計経験年数別による知識獲得源

年数\種別	セミナー(内)	セミナー(外)	Web(内)	Web(外)	専門書	ガイドライン	設計資料	社内会議	会話
3年未満	0%	0%	0%	33%	17%	17%	33%	0%	17%
4～6年	45%	9%	0%	18%	27%	18%	27%	9%	36%
7～9年	10%	40%	10%	20%	30%	20%	10%	40%	20%
10～15年	38%	21%	4%	33%	17%	4%	13%	8%	4%
16年以上	28%	28%	17%	28%	33%	6%	6%	17%	0%

(3)知識獲得時の手段

設計知識不足時の知識獲得手段効果に関する回答結果は、設計者同士の会話 72%、会議参加 4%、ガイドライン参照 20%、Web 参照 4%であった（図 2）。現在の複雑かつ高度化した設計では、多様な条件下での設計が多く、ある特定のコンテキストで記載された形式知よりも、そのときどきのコンテキストに応じた情報が引き出されやすい会話が多用されたものと考えられる。

(4)知識獲得時の問題

知識獲得時の問題は、発見までの時間がかかる 34%、理解困難 23%、不正確 17%、古い 15%、費用高い 8%という結果であった。Web 等大量の情報が掲載されている情報源では必要な知識が埋もれてしまい見つけにくいこと、セミナーなど口頭での知識獲得は後で振り返られないこと、複雑な設計が技術の専門性を高め 1 人の設計者だけでは多くの知識を全て理解しきれないこと、新しい技術では検証が不十分な状態でもビジネス上の戦略のために発表される場合があることなどが問題の根源にある。

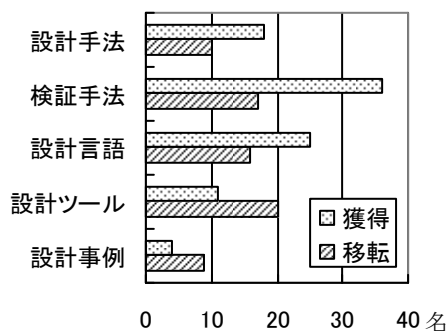


図 1 知識獲得および移転種類

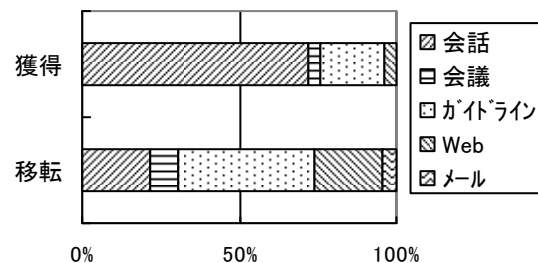


図 2 知識獲得および移転手段

4.2 知識移転

ここでは、設計者が何らかの形で知識を別の設計者に伝えた、または資料に残した等の知識移転についての回答を説明する。アンケートでは、36 名(51%)が過去 1 年以内に知識移転したと回答した。

(1)移転知識種別

移転知識の内訳は、設計手法 10 名、検証手法 17 名、設計言語 16 名、設計開発ツール 20 名、設計事例 9 名であった。（図 1）知識獲得と知識移転者の数を対比させて図 1 に記す。知識種別によって獲得と移転の差に大きな違いがあることが判る。インタビューの結果、手法と言語は理解するまでに時間がかかることや形式知化するまでに時間がかかることから移転が難しく、数が少ない。一方設計ツールの使い方は口頭で短時間に行えることから移転したと認識が高いことが判明した。

(2)知識移転源

設計者ごとの知識移転種別数を表 2 に示す。この結果からは、複数の種類の知識を組織内に移転する特定の設計者の存在が読み取れる。大掛かりな、あるいは高度な設計開発には 1 種類の設計知識だけでなく複数の知識を統合させる必要がある場合が多いため、組織内に多くの設計知識を移転できる設計者の存在は設計開発に大きな影響を与える可能性が高い。

表 2 設計者と知識移転種類

No.	種類数	No.	種類数	No.	種類数	No.	種類数	No.	種類数	No.	種類数	No.	種類数
3	3	18	4	24	2	30	2	39	2	51	2	60	3
6	1	19	2	25	4	31	1	44	3	53	1	61	3
7	1	21	2	27	2	33	1	44	2	54	3	62	3
9	1	22	6	28	1	36	1	49	1	55	5	78	3
13	1	23	1	29	3	37	4	50	2	57	2	79	1

(3)知識移転時の手段

知識移転時の手段の回答では、獲得の場合と異なりガイドラインなどの形式知化された知識による移転のほうがより効果的となった（図 2）。インタビューでは、会話での移転は設計者の能力により正しく移転されるか不確定なことや、特定の設計者が何度も繰り返さなければならない場合があることが懸念されていた。これが回答結果に表れたと考えられる。設計経験年数と知識移転手段の関係をまとめたものが表 3 である。この結果からは、設計経験が多くなるにつれて知識を移転する立場になる傾向が見て取れる。

表 3 設計経験年数と知識移転手段

年数 \ 種別	設計文書	メール	Web 掲載	社内会議	会話
3 年未満	0%	0%	0%	0%	0%
4～6 年	18%	9%	0%	0%	18%
7～9 年	10%	40%	10%	40%	10%
10～15 年	29%	25%	4%	17%	13%
16 年以上	11%	22%	11%	22%	28%

(4)知識移転時の問題

インタビューによると、設計者は知識移転を形式知で行いたいと考えていた。しかし、ノウハウなどは設計条件により将来の設計に使えるかどうか判断しづらいことや、複雑高度な知識を他の設計者に理解できる表現にするのが難しいというコストの観点から、形式知化による知識移転は活発ではないとの回答を得た。また、近年の複雑な設計では検討事項が多いため、設計状況により伝えるべき情報を判断し伝えることが多くなる傾向にあるとの回答も得た。さらに、口頭での知識移転は知識が拡散する過程で用語や内容が変化する恐れがあること、知識の所在と移転状況がよく判らないことも懸念していた。これらの問題は仮説 3 に結びつく。

4.3 知識共有と活用他

本節では本調査における知識共有のあり方と活用方法について説明する。

(1)設計工程と形式知

3. ではウォータフォール型やスパイラル型などの設計工程モデルについて言及した。多くの情報通信企業では国際的な品質規定である ISO-9001 に準拠して開発が進められることが多い。ISO-9001 では開発プロセスの定義と順守が求められる。LSI 開発では、設計ミスによる再設計には規模にもよるが数百万～数千万円の損失が発生する場合があります（末吉 2000）、設計開発現場では開発フローが順守されている。しかし、いずれの設計工程モデルであっても技術の進歩、あるいは開発対象により、個々の作業工程数とその内容は異なっている。開発はいくつかのプロセスに分かれており各々のプロセスには入力と出力(成果物)がある。山田（2006）の定義に従うと、成果物は問題領域を解決した暗黙知を形式知化したものと言える。調査した部門の設計開発プロセス数と開発プロセスの入出力数を表 4 に示す。設計対象が詳細になるほど開発プロセスは詳細に規定されていた。標準的な設計プロセスは部門内で規定されており、開発開始時にカスタマイズされる場合がある。しかし、そのカスタマイズは経験による場合が多く、設計開発プロセスそのものが形式知と暗黙知が混在した設計開発知であると言える。

表 4 開発プロセス数と入出力数

	プロセス数	入力情報数	出力情報(成果物)数
装置レベル	9	22	14
LSI(全体レベル)	39	40～50	26
LSI(詳細レベル)	50	62	42

(2)知識共有と更新頻度

調査の結果、各々の開発工程では設計漏れ等を防ぐためにガイドラインやチェックリストが全ての部門で規定されていた。ただし、インタビューによると設計ツール等の利用ノウハウは設計状況(コンテキスト)により変わるためガイドラインに記載されていないことがあるとの回答を得た。設計対象が複雑で様々なソリューションが存在する場合、その全てを形式知化できないため、暗黙知での知識移転は避けられないと推測できる。開発規定のようなオフィシャルな規定については、適用部門の範囲が大きいほど内容が一般化し、また一般化しているが故、更新頻度も遅いという傾向が見られた。情報通信機器は複数の機種が同時並行に開発されることが多い。このとき、装置レベルでは設計開始から完了まで1年以上かかる場合があるが、部品やモジュールレベルでは数カ月単位で開発が進む。調査した全ての部門では開発完了時に開発振り返りプロセスを定めており、その開発において獲得したノウハウがレビュー記録として纏められていた。開発時に自分たちのチーム以外での開発記録の参照や前設計での反省により新設計での新手法やツール導入等の機会が増えることから、獲得した知識量が知識成長と捉えられ、成長速度は装置レベルよりモジュールレベルのほうが速いと考えられる。これは仮説1と2を支持するものである。

(3)知識共有手段

調査したある組織では、設計時の気づきなどを壁に張った模造紙にポストイットで張り付けていた。ポストイットのサイズのためキーワードのみ記されていたが、設計者に壁に張る理由と効果を確認したところ、全体を見渡すにはPCの画面より壁に貼ったほうが情報の所在が判りやすく、また大勢の目につくためコミュニケーションを促進する効果があり、設計チーム内での気づきの共有が進むとの回答を得た。これまで記してきた知識の形式知化が困難であることや懸念点、あるいは、このようにコミュニケーションを促進するための方法が取られることは仮説3と仮説4を裏付けるものである。

5. 結論

ISO-9001を適用された情報通信機器設計開発企業では、規定された開発工程に沿って設計開発が行われる。設計者は、社内外の 세미나、設計資料、ガイドライン、設計者同士の会話によって知識獲得し組織内に移転・共有を行う。設計経験が少ない設計者は、最初に基本的な知識を獲得するためガイドラインや設計資料を参照することが多い。一方、社外のセミナーや学会等では最新あるいは高度な技術が発表されることが多く、そのような場所では、ある程度知識があることを前提とするため、設計経験の多い設計者が知識獲得する機会が多い。現在の情報通信機器開発での設計知識は、高度化複雑化しているため専門化が進み設計者個々に分散蓄積されやすくなる。また、特に新しい知識は、形式知化された状態よりも、会話や会議など暗黙的な状態で知識移転されることが多い傾向にある。(図3)

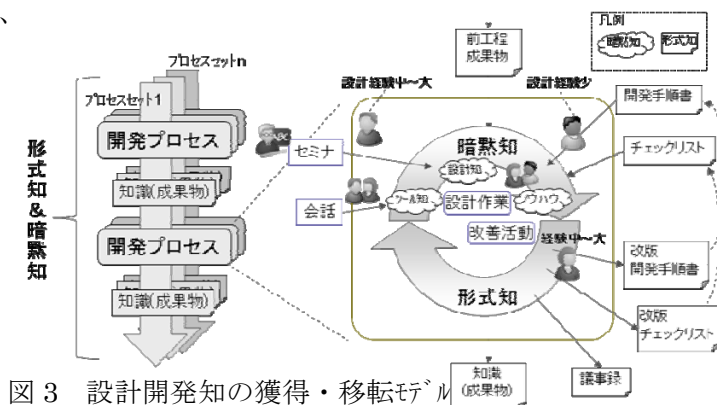


図3 設計開発知の獲得・移転モデル

情報通信機器はハードウェアだけでなくソフトウェアを含め階層構造をもつ様々な部品から構成される。そのため、図3に示す設計開発プロセスセットも階層化され複数存在する。設計は全ての階層がコンカレントに行われるが、上位に比べて下部の階層ほど設計開発期間が短く設計プロセスセット実行の繰り返しが多い。プロセス開始時の新手法適用や開発振り返り時の設計ノウハウ確認などの行為により設計開発組織内の知識獲得・移転の機会が増えるため、設計開発知は下位レベルほど成長する速度が多い。一方、獲得・移転する知識は複雑高度であるがゆえ専門的になりやすく、その結果、下位レベルほど暗黙知化、属人化の傾向にある。(図4)

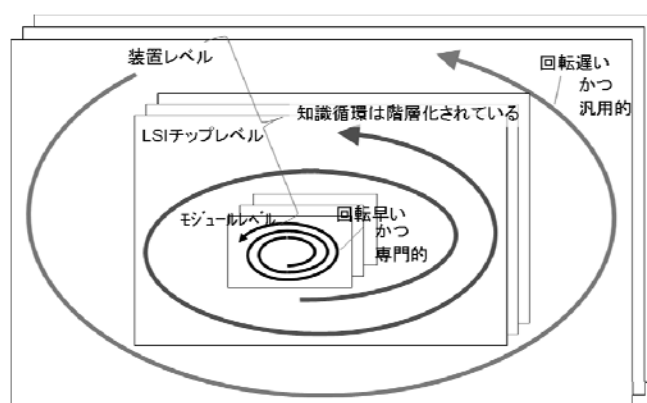


図4 設計開発知の成長モデル

情報通信機器開発企業の設計開発知はどのように成長するため、暗黙知の共有を促進するコミュニケーションや知識の所在の見える化を促進する環境などを整えて開発を進める必要がある。

6. 今後の課題

今回は LSI 設計者のみの調査であったが、近年の設計はソフトウェア化比率が高まっている。ソフトウェア設計者を含めた再調査と今回の調査で判明した多種類の設計知の移転者の組織に対する影響を確認したい。また、知識の共有を促進し設計開発のイノベーションを促すためには、知識の質と量の見える化が重要であると考え。組織における形式知、暗黙知の質と量の測定方法論について研究を行う所存である。

参考文献

ALTERA. 「FPGA デザインフロー」

<http://www.altera.co.jp/products/software/flows/fpga/flo-fpga.html>

Boehm,B(1988)「A spiral model of software development and enhancement」

ACM Sigsoft software engineering notes Vol 11 pp.22-41

Dicson, N 梅本勝博訳(2003)『ナレッジマネジメント 5つの方法－課題解決のための「知」の共有』生産性出版

濱尾仁志(2007)「ハードウェア設計に UML を取り入れるメリット」

<http://monoist.atmarkit.co.jp/fembedded/uml/umlsoc03/umlsoc03a.html>

今井正治(2007)「マルチプロセッサ SoC の現状と将来動向」第 18 回新横浜クラスタ交流会

JEITA SLD 研究会(2001)「システムレベル設計手法の提案とシステムレベル設計言語の適用化検討」社団法人 電子情報技術産業協会(JEITA)

国際標準化機構(ISO)(2008)『ISO9001:2008 Quality management systems - Requirements』International Standard Organization, ISO9001

情報処理推進機構ソフトウェア開発センター(2006)『組込みソフトウェア向け開発プロセスガイド』情報処理機構(IPA), IPA-TN07

Milton, N 著 梅本勝博 石井弘子訳(2009)『プロジェクト・ナレッジ・マネジメント』生産性出版

中林啓司(2005)「LSI 設計シミュレーションに関する知識の共有・利用」

第 19 回人工知能学会全国大会論文集,3C1-01

野中郁次郎 竹内弘高著 梅本勝博訳(1996)『知識創造企業』東洋経済新報社

恩蔵直人(2004)『マーケティング』日経文庫

フィリップ・クルーシュテン 藤井拓訳(2004)『ラショナルユニファイドプロセス 第 3 版』アスキー
Royce.W(1970)“Managing the development of large software systems”

Proceedings IEEE WESCON, August 1970, pp.1-9

桜井至(2007)『HDL によるデジタル設計入門－SystemC/Verilog-HDL を用いたハードウェア/LSI 設計』テクノプレス

末吉敏則(2000)「FPGA/PLD パネルディスカッション」EDA Technofair 2000,

http://www.edatechno.com/jp/session_pdf/sueyoshi.pdf

周東雅之、戸倉綾、山下智規(2003)「UML と SystemC を用いた設計手法の移動通信システムへの適用事例」電子情報通信学会技術研究報告,VLD103(40),pp25-30

鳥海佳孝(1996)「ASIC 開発手順の実際」DesignWaveMagazine1996 年 11 月号,CQ 出版社

内田浩文、大池弘康(2010)「マイコン&FPGA 開発の流れとツール組込み込みシステム開発の基礎知識(前編)」組み込みネット <http://www.kumikomi.net/>

山際伸一(2009)『改訂版 FPGA ボードで学ぶ論理回路設計』CQ 出版社

山田正樹(2006)「Software as Executable Knowledge」metabolics <http://www.metabolics.co.jp/>

山本靖(2010)「デバイス古今東西(11)——FPGA 設計の難しさは ASIC 設計を超えたのか？」

組み込みネット, <http://www.kumikomi.net/archives/2010/04/co07fpga.php>