

システムLSIの産業基盤構造に与えるインパクト

安浦, 寛人
九州大学システムLSI 研究センター

<https://hdl.handle.net/2324/3530>

出版情報：計測と制御. 40 (12), pp.872-878, 2001-12. 計測自動制御学会
バージョン：
権利関係：



システム LSI の産業基盤構造に与えるインパクト

Impacts of System LSIs for Industrial Infrastructure

安浦 寛人(非会員)

Hiroto Yasuura(nonmember)

九州大学システム LSI 研究センター

〒816-8580 春日市春日公園6-1

System LSI Research Center, Kyushu University

Kasugakoen 6-1, Kasuga, Fukuoka, 816-8580

連絡先

安浦寛人

九州大学システム LSI 研究センター

〒816-8580 春日市春日公園6-1

電話 092-583-7620 FAX 092-583-1338

キーワード：システム LSI, 基盤情報技術,
社会基盤, 産業基盤, SoC

概要

新しい情報化社会および産業の基盤を形成する基盤情報技術として、ネットワーク技術、システム LSI 技術、ソフトウェア技術が重要になっている。電子商取引などの経済活動、電子政府や交通・通信・エネルギー産業などの社会基盤、商工業や農業への応用など各種産業基盤に対するシステム LSI の応用と基本的な設計技術の確立が求められている。本稿では、情報の獲得(センサ技術)、情報の処理と蓄積(計算とメモリ技術)、情報の伝達と通信(表示と通信技術)を融合して半導体集積回路上に情報システムを構築する技術としてシステム LSI を捉え、その技術的、経済的特徴について考える。さらに、今後の基盤情報技術として重要になるとと思われる財産、人命、プライバシーなどにかかわる情報を取り扱う応用に対する設計技術の動向について議論する。

1. はじめに

集積回路の製造技術は、依然として急速な進歩を続けており、数年後には 0.1 ミクロン以下の微細加工技術が実用化されると予想されている。これにともない、1つの LSI に搭載されるトランジスタは数千万個から数億個にもものぼり、単に情報の記憶や処理を行うだけでなく、情報の獲得・処理・記憶・通信・表示などを統一的に1つの LSI で行うことが可能となってきた。従来、センサチップ、マイクロプロセッサ、メモリ、信号処理チップなど個別の部品として製造され、システムの構成要素としてボードなどに集積されてきた各機能ブロックを1チップに集積した図1のようなシステム LSI (SoC: System-on-a-Chip と呼ばれる) が出現したのである。システム LSI は、集積回路の新しい形態であり、その上の機能ブロックとしてどのような回路を載せるか、どのようなシステムを構築するか、どのような製造技術を用いるかによりシステム LSI の性質や形状は様々なものとなる。これまでの、部品として規格化された限られた種類の集積回路からシステム毎に異なる集積回路へと、集積回路の性格は大きく変わろうとしている。

システム LSI は、従来の半導体集積回路の設計・製造・

利用の形態も大きく変える可能性を秘めている。まず、同一品種の大量生産という、印刷技術に似た生産方式は必ずしもシステム LSI に適していない。メモリに代表される従

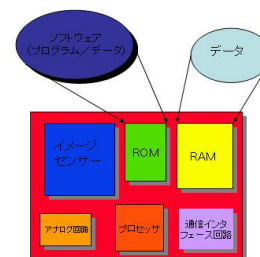


図1. システムLSIの概念図

来型の汎用部品としての LSI は、その用途に関係なく同一仕様の部品を大量生産して、各システムメーカーへ供給できた。1種類の集積回路チップが数多くのシステムに部品として組み込まれて大量に消費される構造であった。しかし、システム LSI は最終システムその物が1つのチップであり、そのシステムの製品としての市場規模がそのままシステム LSI の市場規模の上限になるという性格を持っている。このため、効率良い少量多品種の設計技術および生産技術が必要となる。

規模の増大や機能の複雑化により、システム LSI 内のさまざまな機能ブロックの設計をすべて自前で行うことは時間的にも経済的にも難しい。この問題に対応するために、設計段階で、機能ブロックの設計自身を再利用したり、取り引きしたりすることが行われるようになった。IP(Intellectual Property)の再利用や取引と呼ばれているものである。従来は、一つの組織や設計グループのみで利用されていた設計データが商品として流通するという、新しい設計環境が生まれている。完成されたチップを部品として流通させる形態から、部品の設計データを流通させる産業形態への移行である。設計データの標準化、製造技術との整合性、設計ミスの責任問題、契約上の法的問題など解決すべき問題は、技術面から社会制度面にわ

たって山積しているが、IP 取引への環境は整備されつつある。

利用面においては、システム全体が数ミリ角のシリコンチップに集積されるため、小型化・軽量化が極端に進み、従来考えられなかった分野・領域での利用が可能となった。画像センサなどのセンサ機構の搭載による環境情報の収集、有線・無線通信インターフェースの搭載による通信機能など外部との情報交換機能を持つことも可能となり、自律的なシステムを1チップ上に構築することができるようになった。眼鏡や時計などに埋め込まれる Wearable Computer、IC カード、図書や物品などに貼り付けるタグチップなど利用者がシステムの存在を意識しないような実装形態での応用が可能となってきた。

システム LSI の機能が多様化するとともに利用者の使い方や利用環境にも大きな変化が生まれ、大量生産によるコスト低下とカスタマイズによる柔軟な利用者サービスの間のトレードオフも大きな問題となっている。さらに、システム LSI が電子商取引や電子投票をはじめ各種社会基盤システムに利用されるようになり、市民の生命・財産・プライバシーに直接かわる基盤情報技術となり、その信頼性や安全性が社会の安定や安全に直接影響するようになってきた。このため、利用者が安心して利用できるシステムを設計し供給する技術も重要になっている。システム LSI 技術は、ネットワーク技術やソフトウェア技術と並んで新しい情報化社会および産業の基盤を形成する基盤情報技術として、その重要性が大きくなっている。電子商取引などの経済活動、電子政府や交通・通信・エネルギー産業などの社会基盤、商工業や農業への応用など各種産業基盤などシステム LSI の応用技術と基本的な設計技術の確立が求められている(図2)[1][2]。

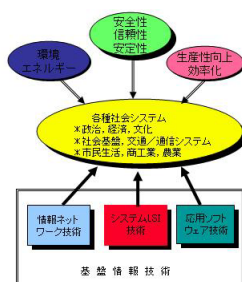


図2. 基盤情報技術としてのシステムLSI技術

本稿では、システム LSI の応用分野やその経済的特性を明らかにし、その産業基盤に与える影響と新しい技術の動向に関して考察する。

2. システム LSI の応用分野

システム LSI の応用分野は多岐にわたる。パソコンなどの情報機器以外にも、機器組み込みシステムとして家電製品、玩具、通信機器、自動車、光学機械、産業機械、医療機器など幅広い分野に利用されていくことが予想される。さらに、システム LSI は、建築、道路、鉄道、電気、水道、ガス、通信システムなどの社会基盤システムをはじめとして、電子マネーや電子商取引をのような経済システム、電子政府構想に代表される行政システムなどの構築にも欠かせない技術となる。

システム LSI 化により、新しい応用の開拓が想定されるのは下記のような分野である。

- 1) 情報機器の高度化・小型軽量化・多機能化
- 2) 既存システムの高機能化・知能化
- 3) 新しいサービスとその構築のための機器

以下、これらの項目について簡単に考察する。

2. 1 情報機器の進化

最近の携帯情報機器の小型化・携帯化・多機能化は、システム LSI 技術に依存するところが大きい。従来は、個別の集積回路として作られていたプロセッサ等の情報処理部分、メモリ等の記憶部分、無線や有線の通信機能部分を一つのシステム LSI に集積することで、小型・軽量で消費エネルギーの小さな携帯電話が実現できた。さらに、表示機能を追加し、ブラウザ機能やワープロ機能を搭載することで、携帯電話は携帯情報機器となった。

パソコンなどの計算機も小型化・軽量化が進んでいる。従来の速度性能とメモリ容量を増加させる進化は、汎用のプロセッサとメモリの大量生産に支えられた進化の方向であった。しかし、システム LSI 技術を採用して、機能や能力を限定しつつも小型化・軽量化を目指す方向の進化も始まっている。パームトップ計算機やネットワーク端末専用機などがその良い例となっている。

また、ワークステーションやネットワークサーバーなどの高機能計算機の分野でも、システム LSI 技術の採用によって、汎用プロセッサとメモリの組み合わせによっては達

成できない性能を実現している。生命科学におけるゲノム情報の解析や化学分野の分子設計などの科学技術応用に対しても、従来の汎用スーパーコンピュータによるアプローチだけではなく、システム LSI 技術を基本とする専用プロセッサによるアプローチも注目されている。高度な画像生成能力を持つゲーム機器もシステム LSI を用いた高性能計算機の好例となっている。

デジタルスチルカメラは、従来の光学系と化学反応と機械系に頼っていたカメラの領域をシリコン半導体を中心とする技術でエレクトロニクス化することに成功した分野である。システム LSI 技術を用いて CCD やフォトダイオードのセンサ部分と画像圧縮部や記憶部分を集積化することで、光学系と一体化した極めて小型の「人工眼」が開発されている。さらに、デジタル化された画像情報は、通信やメモリ機能を使って他の情報機器に転送することができ、その応用範囲は飛躍的に広がっている。音声や画像を取り扱うマルチメディア情報の分野では、システム LSI 技術の応用により、その利用技術が急速に進歩している。

このように、システム LSI 技術は、従来の大量生産された汎用プロセッサとメモリを前提とした情報処理機器を、それぞれの用途に特化した高機能・高性能なシステムとして小型化して実現する方法として、パソコン中心に発展してきた情報機器産業の流れを大きく変化させ始めている。

2. 2既存システムの知能化

自動車は、あくまで人や物を運搬する機器であるが、その運転を円滑に進めるために情報技術を利用する ITS (Intelligent Transport System)の開発が進められている [3]。この中でも、システム LSI 技術は、大きな役割を果たすと考えられる。運転者に車内外のいろいろな情報を収集して伝えるシステム、運転者の補助をして運転の自動化を行うシステム、高速道路の料金徴収などを自動化するシステムなどが研究・開発されている。これらのシステムにおいては、距離の測定、物体の認識、速度の計測などのセンサ機能、センサ等で集めた種々の情報を迅速に処理し判断を下す計算機能、さらには車内外のネットワークに接続する通信機能などが必要となる。システム LSI 技術を利用して、これらの機能を小型化・集積化して実現することで、コストの低減と信頼性の向上を達成することが

できる。

家庭やオフィス内の種々の電気製品は、すでにその制御部としてマイクロコンピュータやマイクロコントローラなどによる情報処理機能を搭載している。システム LSI 技術は、これらの制御部のさらなる高機能化を可能とする。例えば、センサ機能の付加により周りの環境の情報をモニタしながらエネルギー消費の最適化や安全性の向上を達成することが可能となる。さらに通信機能を付加して複数の機器でネットワークを構築することにより、他の機器との情報交換が可能となり、家庭全体でのエネルギー最適化やセキュリティの確保などより広域でのサービスが可能となる。また、機能のソフト化により、個々の利用者が必要とする機能を個別的に提供したり、通信によって新しいサービスや機能の別売りをするなどの新しいサービス形態も可能となる。

工場などの生産現場における制御装置の知能化・高機能化も進められている。個々の装置を制御する制御装置同士をネットワークで接続して、工場全体の生産システムとしての効率化を図ろうとする取り組みである。FA (Factory Automation)と呼ばれる分野では、従来のマイクロコンピュータやマイクロコントローラをベースとした制御装置への通信機能の追加、ノイズや振動に対する信頼性の向上、制御精度や制御速度の向上、生産方法の変更に対する柔軟性や拡張性などの観点から、システム LSI 技術を用いた新しい制御装置の検討が行われている。

大型の建築物、道路や鉄道などの交通網、電気やガスなどのエネルギー供給網といった社会基盤システムにもその神経系として情報システムが組み込まれている。このような地理的・空間的に分散した広域システムの維持管理は、センサ機能・情報処理機能・通信機能を合せ持ったシステム LSI 技術の重要な応用分野となると予想される。センサ機能と通信機能を持つ大量のシステム LSI からなるネットワークを構築し、さまざまな環境の制御に利用しようとするプロジェクトも米国を中心に進められている。

このように、システム LSI 技術は、既存の各種システムを知能化し、高機能化・高性能化するための要素技術として利用される。特に、システム LSI 技術を用いて、センサ機能による外界の情報の取得と通信機能によるネットワークの形成が低コストで実現可能となり、既存の閉じたシステムを外界に対してもグローバルなネットワーク世界

に対しても開いたものとする事ができる。システム LSI 技術は、システムのオープン化を加速する重要な技術として、種々の産業基盤に影響を与えると考えられる。

既存システムの知能化においては、システムの高速度・高機能化により、従来の利用形態に対して、システム自身の質が変化する点に注意する必要がある。外界からの情報を取り込む頻度（サンプリング時間）の劇的な変化、ネットワークを介した情報の高速な流布とそれに対する反応の時間（時定数）の数桁におよぶ大幅な短縮は、システム全体の安定性を根本的に再確認する必要性を生じさせる。特に、多くの人間が介在する社会システムへの応用においては、社会科学的な配慮も含めてこのようなシステムの質的变化を議論する必要がある。

2. 3新しいサービスを提供するシステムの構築

経済活動の電子化は、電子商取引や電子マネーなど、今後急速な発展が予想される分野である[4]。この分野では、情報ネットワークを介した通信機能の他に、高度の安全性および信頼性を提供する必要がある。取引相手の確認を行うための認証技術、取り引き内容の漏洩・改竄などを防止するための暗号技術など、取り引きの安全性を確保する技術の確立が必要となる。電子マネーなどに用いられる IC カードなどには、複雑な計算を要求する暗号化やその復号化を高速にかつ低エネルギーで行う回路を搭載したシステム LSI が必要となる。また、個人認証には、顔や指紋や網膜の画像認識技術なども必要となる。インターネットを介して行われてきた従来の電子商取引も、一般の人々が日常的に利用するようになると、汎用パソコン上の単純なパスワードと暗号だけによるセキュリティ保護では、十分に財産を守る仕組みとなりえないのは容易に予想される。一般の人々が安心して財産を任せられるような電子商取引や電子マネーの社会システムの構築には、紙幣による経済システムに投資された以上の技術的な安全対策が必要であり、システム LSI 技術はその鍵を握る技術の一つであると考えられる。

政府が早急に整備すると宣言している電子政府の実現においても、システム LSI は極めて重要な役割を果たすと考えられる。ネットワークを介して行われる各種の申請・許可・閲覧などにおいて、不正なアクセスや改竄が行われないようにするためには、個人の特定を行う認証技術

が必須となる。個人の ID をどのような形で与えるかは、国民総背番号制などともからむ難しい問題もはらんでいる。しかし、最終的には、各個人が何らかの ID を持つ必要が出てくると予想される。偽称されないような ID システムの構築にもシステム LSI は、大きな可能性を開く技術となると考えられる。単に、個人の ID 情報を記憶したり、認証や暗号の機能を持つだけでなく、通信機能の付加による利便性の向上やセンサ機能の内蔵による紛失や不正に対する対応なども考えられる。このほか、種々の物品に付加して商取引、物流、検索を円滑化する物品タグチップなどもシステム LSI 技術の重要な応用分野となると考えられる。

このように、システム LSI 技術は、商取引における信用や、人や物品の名前といった、人間の社会におけるソフト的な概念を客観的に取り扱える情報として具現化する道具となる可能性がある。これは、全く新しいサービスや応用分野を開拓するものであり、今後の社会システムの構築を根底から変える可能性を秘めている。

このような、社会の基盤の神経系にあたる新しい応用を支える技術としてのシステム LSI 技術を確立するに当たっては、単にシステムを複雑化するだけではなく、逆に単純化してその原理を利用者に分かりやすくする工夫も重要である。ブラックボックス部分を増やすのではなく、内部の基本構造や動作原理を公開することで、利用者の責任でそのシステムの技術的限界を理解できるようにすることが、技術や産業の安定した発展と社会の安全につながると考えられる。

3. システム LSI の経済的特性

3. 1 LSI のチップコストモデル

種々の応用分野でシステム LSI が利用されるかどうかは、従来のシステム構成法に比べてコストが低くできる場合か圧倒的な性能や機能の向上が可能となる場合に限られる。

まず、集積回路の原価がどのように決まるかを考えてみよう。1チップあたりのコストCは大まかに次のような式で近似できる。

$$C = D/N + F/(YM) + T + P \cdots (1)$$

ここに、

C: 1チップあたりのコスト

D: 設計費およびマスクの費用

N: 出荷する良品チップの総数

F: 1ウェハあたりの製造費用

Y: 歩止り(良品率)

M: 1ウェハ上のチップ数

T: 1チップあたりのテスト費用

P: パッケージのコスト

第1項は、設計とマスクにかかる費用、第2項は製造にかかる費用を表している。ここで、第2項の歩止りYと1ウェハ上のチップ数Mはチップ面積Aの関数となる。単位面積あたりの欠陥率をq、ウェハ面積をWとすると、

$$Y = (1-q)^A$$

$$M = W/A$$

で近似できる。また、テスト費は、テストの設計費 D_T 、LSI テスタ上でのテスト時間 t に依存し、

$$T = D_T/N + V_T t/Y$$

となる。ここに V_T は、テスタの寿命と価格から決まる単位時間あたりのテスタ使用料である。

これより、システムアーキテクチャを設計する際に、設計費の低減、チップの出荷総数の増大、面積の縮小、テスト時間の短縮、パッケージコスト(おもにピン数と発熱によって大きく変化する)を十分考慮することが重要であることがわかる。

設計費用には、設計者の人件費、設計ツールの整備・利用に関する費用、IP の購入費用はなどが含まれる。数千万円からチップによっては数十億円を越えるものとなる。マスク費用も微細化によって高騰しており、最先端の技術では、30枚から50枚のマスクが1セットとなり、総額は数千万円にのぼる。しかも、設計ミスがあるとマスクの作り直しが必要であり、マスク製造前の設計検証は極めて重要である。

ウェハのサイズは年々大規模化の方向にあり、30センチウェハの実用化も始まっている。1ウェハの製造費は、1ライン数千億円にのぼる製造工場の設備費によって決

定される。少品種大量生産から多品種少量生産への移行に向けて、1ラインを百億円程度で建設できるミニファブの技術開発も進められている。現在、材料費とラインの設備投資を考慮した1ウェハあたりの製造コストは数十万円程度と推定される。歩留まりは、チップサイズと製造ラインの安定性に大きな影響を受ける。数パーセントから90パーセントを越える場合まで、設計と製造ラインの質によって大きく変化する。1ウェハあたりのチップ数は、ウェハの大きさとチップ面積によって決まる。8インチ(20センチ)ウェハの場合、1平方センチ角のチップが200個程度とれる。

テストコストもチップコストに大きな影響を与える。チップ内の製造欠陥を製造後に検査する入出力パターンを生成するテスト設計は、チップ内の素子数の増大と回路の種類の多様化によって、チップ設計に必要なコストと同程度のものになろうとしている。また、製造後のテストを実施するテスタは、1台が数億円もする高価なもので、その利用時間は、テストコストに大きく影響する。不良品を見逃すことなく、短時間にテストを実施することが重要である。

パッケージも大きなコスト要因である。ピン数の増大は、複雑な実装形態を要求し、時には、チップコストの半分以上をパッケージ費が占めるようなこともある。また、チップの消費電力の増大は、発熱を増加させ、パッケージにセラミックなどの高価な材料を使う必要が出ている。外部ピンの最小化、消費電力の削減が、パッケージコストの削減のために益々重要となる。

3. 2システム LSI が用いられる条件

メモリや汎用プロセッサなどの汎用部品のコストは、出荷されるチップの総数Nが大きいために、(1)式の第2項の $F/(YM)$ に大きく左右された。このため、チップ面積の縮小が設計者の最大の努力目標とされた。システム LSI は、システム全体を集積するためにその面積は大きくなりがちであり、製造コストである第2項の観点からは、必ずしも有利とは言えない。複数のチップを基板上に搭載するための手間や小型化による付加価値の増大なども含めた総合的なコスト比較が必要となる。

システム LSI においては、最終製品の市場規模によって出荷されるチップの総数Nが制約され、必ずしも従来の汎用部品のような製品数を確保できるとは限らない。このた

め、(1)式の第1項である設計費用やマスク費用がチップコストを決定する大きな要因となる。設計費用は、集積度の増大に伴って、急激に増大する方向にあり、その削減の手法の確立が急務である。部分回路(IP)の設計を再利用する技術や、設計されたIPの取り引き環境の整備など新しい技術が構築されている。また、微細加工の進展、配線の多層化、論理・アナログ・メモリ・センサなどの異なるプロセスを必要とする回路の混在などにより、マスク枚数は増加し、1枚ごとのマスク代も高価になり、システムLSIのマスク費用は増大の方向にある。1つのシステムLSIのマスク費用が数千万円に上ることも珍しくない。

例:設計費用を 85,000,000 円、マスクが1枚50万円で30枚、と仮定し、他のパラメータを

$F = 200,000$ 円, $Y = 0.8$, $M = 500$ 個,

$T = 200$ 円, $P = 300$ 円

と仮定すると(1)式は、

$C = 100,000,000 / N + 1000$ (円) ... (2)

となる。製品数Nとチップコストの関係を図3に示す。製品数が増大するに従って、チップコストが急激に減少することがわかる。また、チップコスト内で設計およびマスクコス

トが占める割合を図4に示す。製品数が10万個を越えるあたりまでは、設計・マスクコストがチップコストの半分以上を占めることがわかる。また、1千万個も出荷できるような製品では、製造コストやテスト、パッケージのコストが製品全体のコストを決定する。このように、システムLSIを利用する場合には、市場規模の把握が極めて重要であり、予想される製品数に合わせて、設計・製造手法やシステム構成法を柔軟に企画しなければならない。

設計費用の削減には、設計自動化技術の開発、マスク作成を不要とするような試作技術(FPGAや電子ビーム露光機による直接描画など)、形式的な手法を用いた高速検証技術の確立など多くの課題がある。システムLSI設計に対する設計時間の短縮と設計費用の削減は、設計手法の本質的な転換を迫っているといえる。また、製品総数Nが大きくできない場合には、複数の応用で同じ設計とマスクを共有する工夫も必要となる。FPGAなどのプログラム可能な回路を前提とした可変構造アーキテクチャの研究も進められている。さらに、メモリのような部品が廉価に供給できる場合には、すべての機能を同一チップへ直接搭載するのではなく、メモリ部分だけを部品として購入し、チップの上に直接貼り付ける技術(MCM: Multi-Chip-Module, SIP: System-in Package などと呼ばれる)も提案されている。

システムLSIにおいては、不良品の出荷に対しては、部分回路の交換ではなくチップ全体の交換でしか対応できず、故障に対する損害賠償も大きな負担となる。故障の見逃し率をできるだけ小さく押さえて、しかも短時間にテストで検査できるようなテスト設計は、システムLSIの経済性確保のための重要な技術である。高速のテスト用入力系列の作成アルゴリズム、運用時の電源電流の測定を基本とするIDDQテスト(回路の電源電流の異常を検出することで故障を発見するテスト)、テストに必要な回路を内蔵するテスト容易化設計、組込み自己テスト、既設計の部分回路を含んだチップのテスト容易化のためのテストインタフェースの標準化などが研究・開発されている。今後の既設計のIPを多用するシステムLSI設計手法に対応した全く新しいテスト戦略が求められている[5]。

システムの集積化は、一般にシステムの複数チップへ

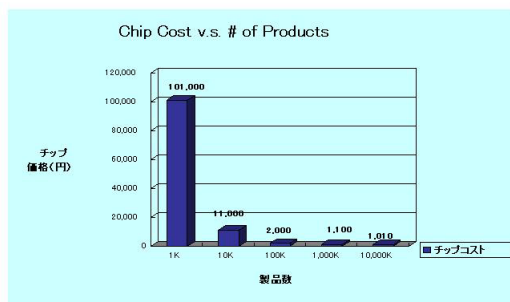


図3. 製品数とチップコストの関係

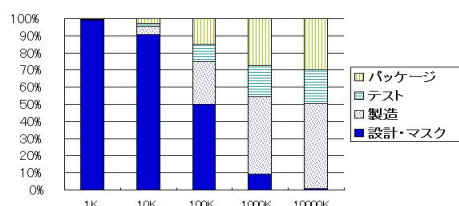


図4. 設計・マスクコストの割合

の分割を不要とするために、パッケージのピン数は小さくなる方向に働く。また、従来の複数チップ実現での大きな問題点であったチップ間の信号転送によるエネルギー消費や転送遅延も飛躍的に減少する。このように、システム LSI 化は、システム全体のパッケージコストを削減する可能性を秘めている。一方、センサの搭載は、センサ部分と外界とのインタフェースを実現する特殊なパッケージが必要となる。高密度に素子を集積することから、放熱の問題も重要となり、熱に耐えるパッケージや放熱効率の良いパッケージ技術などパッケージコストを引き上げる要因になる。

システム LSI を利用するかどうかは、従来の複数チップによるシステム実現に比べて、明らかな利点がある場合に限られる。対象となるシステムの市場規模、設計やマスク製作にかかる費用、利用できる部品チップの価格や部品 IP の利用の費用、最終製品に加工するための工数、テストの費用とシステム全体としての信頼性、パッケージなどの実装コスト、小型化・軽量化・低消費エネルギー化・高速化などによる付加価値の上昇などを総合的に判断してその採否を決定すべきである。システム LSI の中でも、MCM あるいは SIP のような複数のチップの張りあわせ技術や可変構造アーキテクチャの採用など、単純な SoC 以外の可能性も常に意識して、対象となるシステムに最も適した実現方法を選ぶべきである。

4. システム LSI 設計技術の動向

システム LSI の設計においては、集積回路技術と情報技術の融合、機器組み込みシステムを前提としたシステム構成技術、低消費エネルギーや高信頼性・安全性を保證する技術などの確立が必要である。

プロセッサコアとソフトウェアによるシステム実現は、システム LSI 設計の中核技術である。プログラムやデータが格納されるメモリの面積まで考慮したチップの最適化、ハードウェアとソフトウェアの機能分割、コンパイラやオペレーティングシステムのサポート、ハードウェアとソフトウェアを一体化したデバッグ環境の提供など、これまで LSI 設計に含まれなかった新しい設計技術の開発が必要となる。ソフトウェア技術も従来の汎用計算機のために開発された技術だけではなく、システム LSI の設計のための新しいソフトウェア設計技術およびハードウェ

ア/ソフトウェア協調設計技術が求められる。

システム LSI は、組み込みシステムとして、各種の情報機器や電子製品に組み込まれる。この意味で、システム LSI の設計は、製品の設計そのものとなる。特に、近年の製品のライフサイクルの短期化によって、設計期間を短縮してタイムリーに市場へ出す要求が高まっている。製品の企画から仕様の確定、設計、検証、試作、製造までを連続的に行うための技術が重要になっている。FPGA(Field Programmable gate Array)や LPGA(Laser Programmable Gate Array)を用いたプロトタイピング手法など時間軸方向の協調設計への要求が高まっている。

90 年代の前半の論理合成の実用化によってデジタルシステムの設計効率は大幅に向上したが、設計規模と設計技術のギャップは益々増大する方向にある。設計の再利用は、最適化され良く検証された設計を、IP 部品として他の設計に流用する技術である。再利用をすることで、設計の重複を防ぎ、設計効率を高めることができる。設計記述言語で書かれたレジスタ転送レベルの記述、論理回路のネットリスト、レイアウトされた設計など種々のレベルでの再利用が考えられる。さらに、設計の一部をパラメータ化することにより、規模や機能の異なる部品を必要に応じて生成し、より柔軟に再利用することもできる。再利用するための設計データの規格化、合成やテストの手法の統一など課題は多い。さらに、IP 化した部品を商品として流通させるための技術も今後ますます重要となる。

システム LSI の開発は、システム設計者、LSI 設計者、テスト設計者、テスト技術者、プログラマなど多くの技術者の共同作業となる。最新の携帯電話用システム LSI の開発には、1000 人を超える設計者が関与している。ネットワークを介して地理的に分散した環境での設計がすでに多くの設計現場で行われている。設計効率の向上のためには、このような分散環境でのコミュニケーション、データ管理、作業分担などを支援する新しい設計環境および工程管理技術が必要となる。

IP 化された部品を組み合わせで設計されるチップの検証やテストをどのように行うか、品質をどのように保証するかも新しい課題である。単に論理的な機能だけでなく、消費電力や性能が仕様の要求を満たしていることをどのようにテストするか、アナログ回路やセンサの部分のテスト法をどうするかなどもシステム LSI の品質を保證するた

めに解決すべき問題である。

微細化により単位面積あたりの素子数の増加が、単位面積あたりの発熱を増加させ、集積化の限界が近づいている。同じ電池でできるだけ長時間使用できるようにすることは、携帯機器設計の基本である。システム LSI を搭載する機器が、ファンやフィンをつけないですむような発熱を抑えることは、機器のコストや形状に大きな影響を及ぼす。このように、消費電力を考慮したシステム LSI 設計は必須の技術となってきた。性能やチップ面積へのオーバーヘッドをできるだけ少なくして低消費エネルギー化を達成する手法の確立が望まれる。システム内の不要な計算を除去する技術、電源電圧を計算の需要に応じて制御する技術、利用者のニーズにあわせてシステムの構成を最適化する技術など低エネルギー化技術の研究・開発が進められている[6]。

システム LSI の応用分野の拡大につれ、分野によっては今までに無い高い信頼性を要求する応用も現れてくる。特に、財産・人命・プライバシーなどに直接影響する社会基盤システムへの応用では、信頼性は極めて重要である。応用の要求にあわせて信頼性を制御する設計技術が必要となる。厳しい条件下で用いられる制御機器や人為的な攻撃にさらされるマネーシステムなど、従来の半導体設計にはなかった条件が課せられるようになる。

システム LSI を組み込んだ機器が社会のあらゆる分野で利用されるようになると、不測の事故や障害が発生したときの製造物責任をどのように考えるかも大きな問題である。購入した IP 部品や複雑なソフトウェアを多種多様に混載したシステム LSI の不具合は、原因の特定や責任の確定が極めて難しくなる。利用者や機器設計側とシステム LSI 設計側の責任分担や品質保証の与え方などは、設計手法にも少なからぬ影響を与えられと考えられる。特に、利用者の知識不足から起こる事故に対する設計側の責任は、システムの複雑さが増せば増すほど大きくなる。利用者のシステムに対する知識を普及させるための方策の議論も重要である。

現在のパソコンやゲーム機、あるいは携帯電話などの技術レベルでは、社会システムを安全に安定的に支える技術としては不十分である。また、このような社会の基幹技術を外国の技術のみに依存して構築することは、国家の安全保障の意味からも危険である。国家の産業戦略と

してのシステム LSI 設計技術の確立が望まれる。

システム LSI の社会基盤や各種産業への応用の中で注意すべきことは、製品やシステムの寿命と技術の寿命の関係である。半導体産業は、過去 40 年にわたり 3 年で 4 倍の集積度を実現してきており、その進歩は少なくとも今後 10 年は続くと言われている。このような進歩の早い産業分野では、設計や生産ラインは 10 年以上続けて有効であることは極めて難しい。一方、社会基盤や種々の産業応用においては、20 年から 50 年といった長いスパンで安定にシステムを運用する必要が出てくる。故障や事故で、システムの補修が必要になった時に、システム LSI として実現されたチップの在庫が無くなっている場合も想定される。この時、過去の設計から同じものを生産する生産ラインが確保されている保証はない。極めて重要な社会基盤に対しては、部品の確保のために生産ラインを確保しておくようなことも考えられるが、そのコストは極めて大きくなる。今後のシステム LSI を基盤とする社会システムや産業システムは、この半導体技術とシステム寿命の時間差を計算に入れて、柔軟な構造で設計される必要がある。

5. おわりに

今後の社会基盤における基盤情報技術のしめる役割はますます大きくなると考えられる。経済システム、行政システム、ライフラインなどを支える社会の神経系としての基盤情報技術は、個人の生命、財産、プライバシーや社会の安定にも直接かかわる仕組みであり、高い信頼性、安定性、安全性が要求される。電子商取引に代表される経済システムの電子化は、税金の徴収や私的貨幣の発行など、現在の国家体制を揺るがしかねない問題も数多く含んでいる。また、各産業分野も、システム LSI 技術やネットワーク技術の導入により、その産業形態を大きく変化させることが予想される。社会や産業の基盤を支える基盤情報技術のあり方を技術サイドから検討し、新しい方向を提案することは、そのまま技術開発の大きな目標設定となる。

システム LSI は、21 世紀の社会や産業の設計に欠かせない技術であるとともに、その機能、性能、品質、信頼性、安全性などは市民生活の質や安定性に大きく影響する。新しいシステム LSI 技術の方向性を明確にし、21 世紀の

社会のデザインに要素技術の側面から指針を与えることは、現代の技術者に課された使命であるとする。

参考文献

[1]H. Yasuura, "Towards the System LSI Design Technology," IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol. E84-A, No.1, pp. 91-97, Jan. 2001.

[2]小特集「一億超トランジスタ時代のシステム LSI」, 電子情報通信学会誌, vol. 84, no.8, 2001 年8月.

[3]特集「ITS-Intelligent Transport Systems」, 情報処理 vol.40,no.10,1999 年9月.

[4]片岡善治監修「e-コマースシステム技術体系」, フジ・テクノシステム, 2001 年 5 月.

[5]杉原 真, 安浦 寛人, 「システム LSI 時代における新テスト技術」, 情報処理学会論文誌, vol.42, no.3, pp.409-418, 2001 年3月.

[6]H. Yasuura and T. Ishihara, ``System LSI Design Methods for Low Power LSIs," IEICE Trans. Electronics, vol. E83-C, no. 2, pp.143-152, Feb. 2000.

安浦寛人

昭和 53 年京都大学工学研究科修士課程(情報工学専攻)修了。京都大学工学部助手、同電子工学科助教授を経て、平成 3 年より九州大学教授。現在、九州大学大学院システム情報科学研究院情報工学部門教授およびシステム LSI 研究センター長。VLSI システムの設計手法と CAD の研究に従事。東北大学大学院工学研究科教授を兼任。