

科学技術動向

2005

3

No.48

科学技術トピックス

▶ ライフサイエンス分野

- ① JNK 阻害ペプチドを用いた新しい糖尿病治療薬の開発の可能性
- ② ヒトの遺伝的多様性の情報を含む
ゲノム地図作成計画の拡大が発表された

▶ 情報通信分野

- ① 日本技術者教育認定機構が国際認定機構に正式に加盟する見通し

▶ 環境分野

- ① 中部国際空港における海域生物環境を配慮した取り組み
— バイオ技術を利用した人工藻場の造成 —

▶ ナノテク・材料分野

- ① 米国 2005 AAAS Annual Meeting で
連日ナノテクノロジーが取り上げられた

▶ エネルギー分野

- ① ドイツ、米国における太陽光発電導入の動向

▶ 製造技術分野

- ① 低コスト化が期待できる酸化チタン精製の新手法が開発された

▶ フロンティア分野

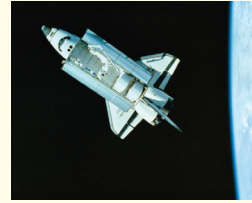
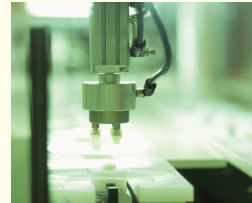
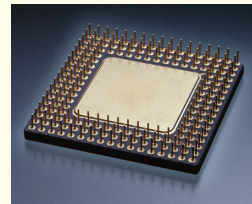
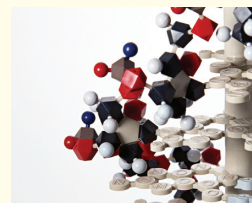
- ① 地球深部探査船「ちきゅう」の公式試運転開始と
統合国際深海掘削計画の動向

特集 1 LSI 設計技術の研究開発動向

— 電子機器の付加価値を支配する
システム LSI 開発のボトルネック —

特集 2 消防防災に関する科学技術動向

— 安心・安全を目指す科学技術の特性と方向性の考察 —



科学技術トピックス

ライフサイエンス分野

6

① JNK 阻害ペプチドを用いた新しい糖尿病治療薬の開発の可能性

日本人に患者が多く、成人病のひとつと考えられる2型糖尿病では、肝臓や筋肉などの種々の組織でリン酸化酵素である JNK 1 の活性が亢進している。従って JNK の活性を阻害することが糖尿病の治療法につながると考えられ、阻害活性をもつ JIP - 1 ペプチドが期待されていた。しかし、JIP - 1 は細胞膜を透過できないという問題があった。今回、大阪大学大学院医学研究科の金藤博士らは、細胞膜透過能を持つペプチド (HIV - TAT) を JIP - 1 に共有結合させて、新たなペプチドを合成した。この合成ペプチドは、マウス腹腔内投与により、肝臓、筋肉などの細胞内に移行し、JNK 活性を阻害することが示された。この研究成果は、ペプチド性医薬を用いた新規糖尿病治療法の開発に貢献するものと期待される。

② ヒトの遺伝的多様性の情報を含むゲノム地図作成計画の拡大が発表された

ヒトのゲノムは 99.9% が同じであり、残りの僅か 0.1% に、個人の病気の発症リスクや薬剤に対する感受性などのゲノムの多様性が存在する。疾病の発症原因の解明や新たな治療法の開発などのため、ゲノム多様性の指標である SNPs 情報を含むゲノム地図の作成は必要である。これを目的とした国際 HapMap プロジェクトは 2002 年 10 月から開始されており、2005 年 2 月 7 日には当初の目的の地図が完成した。同時に本プロジェクトでは官民から 330 万ドルの追加支援を受けて、さらに詳細な地図の作成にとりかかることを発表した。全 SNPs の解析には費用がかかり過ぎると予想されたため、当初の計画では、ヒトゲノムに存在する 10 分の 1 の SNPs (100 万個) の位置情報を含む地図作成がされた。新しい計画では、この 5 倍の SNPs 情報を含む地図の作成が予定されている。詳細なゲノム地図は、既に知られている疾患に関わる遺伝子の情報などと組み合わせることにより、様々な疾患に関連する遺伝子の解明に繋がるのではないかと期待されている。

情報通信分野

7

① 日本技術者教育認定機構が国際認定機構に正式に加盟する見通し

国内の工学系大学の教育水準に関する認定を行う JABEE (日本技術者教育認定機構) が、今年 6 月に、国際協定であるワシントン協定に正式に加盟する見通しである。現在、JABEE による認定を受けた教育プログラムは、着実に増加している。

特に情報学分野では、技術変化の速度が速く、教育水準の規定が難しい。先導する米国では、CC2004 と呼ばれるモデルカリキュラムが策定され、それに基づいた教育水準の審査基準が策定されつつある。我が国でも、情報処理学会等に付託された審査基準の策定に関して、研究者・教育者の多大な努力が払われている。JABEE による認定が浸透することで、技術者教育の質的向上に資することが期待されている。

環境分野

8

①中部国際空港における海域生物環境を配慮した取り組み —バイオ技術を利用した人工藻場の造成—

2005 年 2 月 17 日に開港した中部国際空港は、海域生物環境を配慮した取り組みが施されている。海洋環境として、大型藻類の群落は非常に重要であるため、空港島護岸は、幅 10m の小段を有する自然石を利用した傾斜堤護岸となっており、大型藻類が生育できる基盤が造成されている。今回、西側護岸の約 70% の範囲にバイオ技術による大型藻類の種苗生産技術が導入された。このような大規模事業において、バイオ技術による人工種苗が適用されるのは我が国では初めてである。現在、護岸にはさまざまな魚介類がみられ、自然との共生が進みつつあることが確認されている。

ナノテク・材料分野

8

①米国 2005 AAAS Annual Meeting で連日ナノテクノロジーが取り上げられた

2005 年 2 月にワシントンで開かれた米国 2005 AAAS Annual Meeting で、連日、ナノテクノロジーのセッションが開かれた。テクノロジーの話題が取り上げられる Nanotechnology 2005 のセッションでは、今年は「ナノスケールシステムの計測と製造技術」と「生体から学ぶ材料とナノシステムの新領域」の話題が集められた。一方、ナノテクノロジーの社会的側面に関しては、「社会との関わり」と「健康や環境に関する側面」がそれぞれ独立して議論された。ナノテクノロジーは科学と社会の関係を論ずるひとつの事例となっており、国民の理解を得るためには、リスク対ベネフィットのバランスが焦点であることが指摘された。

エネルギー分野

9

①ドイツ、米国における太陽光発電導入の動向

再生可能エネルギーの主役のひとつである、太陽光発電。ドイツでは、2004 年に新規導入太陽電池発電容量が約 300MW に急増、単年では日本を抜いて初めて世界一になった。2005 年 1 月には、世界最大級の 10MW の太陽光発電（PV）プラントがバイエルン州に建設された。

米国では、太陽エネルギー産業協会が、過去 10 年間にドイツや日本に奪われた市場シェアを取り戻そうと、新たな雇用創出や太陽光発電設置コスト低減化に関する政策提案を本年 2 月に連邦議会に提出した。

世界でみると、ドイツが最も再生可能エネルギー導入者がメリットを得やすい仕組み（新エネルギー法）が整い、日本よりも普及ペースが速い。今後、日本もドイツの新エネルギー法に注目していく必要がある。

製造技術分野

10

①低コスト化が期待できる酸化チタン精製の新手法が開発された

新潟大学の戸田健司助教授と佐藤峰夫教授らは顔料や触媒に使用される酸化チタンを鉾石から安価に精製する新手法を開発した。

酸化チタンは現在、年間約 26 万トンの需要があり、用途が拡大している。

従来の精製法では 900℃ 以上の高温で塩素ガスと反応させていたため、取り扱いが難しかったり、製造装置の腐食等の問題があった。新手法は、硝酸を使用するものの、乾燥温度を 90℃ 程度まで低くできる、エネルギー削減ができ、装置腐食のリスクも低く、安全性も高いプロセスである。さらに精製工程で用いる希土類元素の回収、再利用ができ、プラントも小型ですむため、製造コストは約 3 割近く減らすことが期待できる。

フロンティア分野

11

①地球深部探査船「ちきゅう」の公式試運転開始と 統合国際深海掘削計画の動向

海底下では 7,000m の掘削によりマントルに到達できる可能性がある。我が国では海洋研究開発機構が地球深部探査船「ちきゅう」を建造し、2005 年 7 月の完工を目指して、2004 年 12 月に公式試運転を行ったところである。建造の最終段階に入った「ちきゅう」は深海底から 7,000 m の掘削能力を有することが大きな特徴である。

統合国際深海掘削計画 (IODP) は日本と米国が研究人員や資金面などで対等に運営を行うもので、欧州海洋研究掘削コンソーシアム (ECORD) や中国なども参加している。2004 年 6 月以降、米国や欧州の調査船により、北東太平洋ファン・デ・フーカ海嶺、北極海ロモノソフ海嶺、大西洋中央海嶺などで研究航海が行われた。

今後も次々に研究航海が行われる予定であり、2007 年より同計画に導入される「ちきゅう」による成果が大いに期待される。

特集-1

LSI 設計技術の研究開発動向

—電子機器の付加価値を支配する システム LSI 開発のボトルネック—

— 12

電子機器の価値の源泉は、より多くの素子や機能を 1 チップの LSI に集積したシステム LSI に集約されつつある。一方で、デジタル家電に代表される民生品の製品寿命は、近年短くなり、複雑な LSI を短期間で開発する技術への要求が高まっている。この LSI の開発において、製造技術よりも LSI 設計技術の重要性が相対的に高まり、システム LSI の開発では、LSI 設計がボトルネックになりつつある。

LSI 設計技術は、設計を行う技術とこれを支援する設計方法論に大きく分けられる。この設計方法論は、これまで設計の自動化技術により大きく発展してきた。例えば、設計記述スタイルは、素子のレイアウト図 (70 年代)、回路図 (80 年代)、テキスト形式の言語 (90 年代) と過去約 10 年毎に、より抽象度の高い上流へ発展してきた。LSI 設計においてもソフトウェア開発の場合と同様に発展してきている。

ところが、元々この上流の設計技術が弱い日本の開発力は、開発の中心が抽象度の高い記述になるにつれ、ますます低下している。LSI 設計方法論を中心テーマとした最高峰の学会である DAC (Design Automation Conference) において、かつて民間企業を中心に 10% 前後の採択論文シェアを占めていた日本は、近年では、2% 前後に低下している。

DAC に採択される論文は、7 割以上が大学からであり、この分野の技術開発における大学の果たす役割は大きい。大きな設備投資が不要で、アイデアのみで勝負出来る分野であり、大学が活躍出来る場のはずである。米国では、大学向けの LSI 試作サービスや産学連携システムが整備された後に、大学からの採択論文数が急伸した。近年、半導体製造業で成功を収めた台湾が、国家の主導の下、LSI 設計力を急速に強化しつつある。他の国や地域でも国や産業界が LSI の設計力を強化する動きがあるが、日本だけが例外になりつつある。

日本は、まず、元々少ないこの分野の大学の研究者を増加させる必要がある。それには、企業や外国からの研究者の採用も短期的には不可欠である。長期的には、この LSI 設計技術の開発に必要な人材を養成する為に日本におけるコンピュータ関連の大学教育を充実させていく必要がある。

LSI 設計の競争力は新たな設計方法論を開発していく力であり、日本は、国として重要な用途の新たな LSI の設計を通じて、競争力のある設計方法論も同時に開発していくべきである。例えば、ユビキタス・ネットワークにおける基盤技術の一つとなるセキュリティに関連する LSI の開発を通して、電子マネーや個人認証、暗号処理等で安全な環境を構築する日本独自の技術を開発すべきである。

特集— 2

消防防災に関する科学技術動向

— 24

— 安心・安全を目指す科学技術の 特性と方向性の考察 —

総務省消防庁が毎年とりまとめている「消防白書」には、火災、危険物施設・コンビナート災害、風水害、火山災害、地震災害、ガス・毒物・劇物・原子力に関連した災害まで、実に幅広い災害の現状に関する情報がとりまとめられている。平成 17 年度の科学技術に関する予算、人材等の資源配分の方針（平成 16 年 5 月 26 日・総合科学技術会議）では、国家的・社会的課題への新たな取り組みに向けた科学技術の戦略的・総合的な推進の項目のひとつとして、安心・安全な社会を構築するための科学技術の総合的・横断的な推進が、科学技術の戦略的重点化の施策の中に新たに盛り込まれることとなった。安心・安全な社会を構築するためには、事故・災害の発生原因を理解し、予防と発災後の対応に関する議論をつくることが不可欠で、そのための科学技術が必要となる。消防防災の科学技術は、第 2 期科学技術基本計画で策定された全ての重点分野にわたった領域横断的研究に位置づけられ、事前対応、事後対応、さらには、発生原因の分析から未然防止につなげる PDCA サイクルを形成していくべきものである。

近未来の安全・安心に関する懸念として、高齢化社会に対応する消防防災、環境問題と安心安全社会の背反、放火など犯罪に伴う災害・テロ災害、インフラの老朽化に伴う事故、巨大地震など自然災害が挙げられる。また、近年、燃料電池自動車などの開発が進められているが、従来の消火方法では対応できないことが予想されることから、特異的な燃焼挙動はないのかなどとともに、火災における消火の研究と予防技術が不可欠である。

消防防災の科学技術の成果を安心・安全な社会実現につなげるためには、市民が成果を理解し活用できるようにしなければならない。事故を未然に防ぐには科学技術による予防は当然ながら、それをきちんと理解し、管理・使用する人間に対する教育も同時に行うべきである。技術に直接結びつく研究に対してはさまざまな予算が配分されるが、予防教育などに関する分野にも同様に予算を配分すべきである。純粹技術研究のように、研究成果

が形にはならないかもしれないが、こうした教育も安全・安心社会の構築には必須である。地震が起こったときなどの被害状況は、場所によってかなり異なることが容易に想像される。よって、バーチャルリアリティのようなシミュレーションを用いて、地域にあった避難訓練を地域市民全員に課すことも、減害の視点から有用である。

現在、研究者の業績評価がますます幅広く実施され、重要度が増しているが、現在の多くの研究者評価においては、研究領域の変更は発表論文数の一時的低下などを招くなど、必ずしも有利とならない。よって領域横断的な研究者を育成するためには、安心・安全な社会構築への貢献をある程度の期間にわたって積分する等の工夫を取り入れた評価手法の確立が望まれる。

また、市場規模が小さいが故に、消防等現場からのニーズに沿った機器の開発へのモチベーションが高まらず、災害と闘う為の科学技術に最先端の研究成果が導入されづらい。消防防災の科学技術は予防・対策のいずれについても、研究成果の公開が原則であり、産学官連携及び府省連携といった効率的・効果的な研究推進体制に寄与できる。府省連携等の体制で、消防防災の科学技術の成果を汎用市場で活用可能なものとする事で、研究開発のターゲット市場を拡大することが出来る。消防活動の現場で求められる耐環境・性能要件は、軍事技術に比較しても、同等あるいはより過酷なもので、解決すべき科学技術的課題は高度である一方で、費用・効果比はより民生に近い水準が求められる。

米国が世界の警察として軍事技術により科学技術を先導することに対比させるならば、日本は世界の消防として「防災・減災」技術のブレークスルーに科学技術を先導し、国際社会に貢献することも可能なのではないだろうか。消防防災の科学技術が効果的に遂行され、成果を社会に還元するためには、こうしたビジョンの作成と体制の構築が不可欠である。

科学技術 トピックス

以下は科学技術専門家ネットワークにおける専門調査員の投稿(3月号は2005年2月5日より3月4日まで)を中心に「科学技術トピックス」としてまとめたものです。センターにおいて、関連する複数の投稿をまとめ、また必要な情報を付加する等独自に編集するため、原則として投稿者の氏名は掲載いたしません。ただし、投稿をそのまま掲載する場合は、投稿者のご了解を得て、記名により掲載しています。

ライフサイエンス分野

① JNK 阻害ペプチドを用いた新しい糖尿病治療薬の開発の可能性

糖尿病には1型と2型の2つのタイプがある。通常1型糖尿病は小児期に発症し、2型糖尿病の多くは中年期以降に発症する成人病である。日本人が罹患する糖尿病のほとんどが2型糖尿病であり、患者数は近年増加傾向にある。

2型糖尿病では、肝臓や筋肉などの種々の組織でc-Jun N-terminal kinase (JNK) 1の活性が亢進している。これがインスリンに対する抵抗性(インスリンが十分に効果を発揮することを妨げる)やインスリン合成の阻害に関わっており、その結果として糖尿病を発症するのではないかと考えられている。従って、JNKの活性を阻害すれば、糖尿病の症状を緩和することが出来るのではないかと期待されていた。そのためにJNK阻害作用をもつ物質の探索がされていた。2000年にスイスの研究グループが、JNKの活性を阻害するペプチドであるJIP-1を報告した。しかし、JIP-1はそのままでは細胞膜を透過しないため、細胞内に存在するJNKの活性を阻害

できず、JIP-1を糖尿病の治療に用いるためには膜透過性の改善が求められていた。

今回、大阪大学大学院医学研究科の金藤博士らは、HIVウイルス由来の細胞膜透過能を持つ10個のアミノ酸から構成されるペプチドであるHIV-TATペプチドを用い、これをJIP-1に共有結合させて、新たにJIP-1-HIV-TATペプチドを合成した。この合成ペプチドに蛍光物質であるFITCを結合し、糖尿病の病態マウスに腹腔内投与したところ、肝臓、脂肪組織、筋肉などのインスリンが作用する組織の細胞内に合成ペプチドが移行することが観察された。また、この合成ペプチドのJNK阻害効果は投与量に比例することが示され、さらに対照群のマウスと比較して、投与群のマウスのインスリン抵抗性や耐糖能(血糖が上昇した時の調節能力)の改善が認められることが示された。これらの研究結果は、2004年10月にNature Medicine誌に発表された。

一般に高分子の細胞内導入は困難である。本研究は、目的の阻害作用を持つペプチドに細胞膜透過性ペプチドを結合した合成ペプチドを*in vivo*投与し、実際に阻害効果が観察された点で重要かつ興味

深い。この研究成果は、ペプチド性医薬を用いた新規治療法の開発に貢献するものと期待される。

参 考

- Kaneto, H. et al. Nature Medicine 10 (10): 1128 - 1132, 2004

② ヒトの遺伝的多様性の情報を含むゲノム地図作成計画の拡大が発表された

ヒトのゲノムは血縁関係にない人同士でも、99.9%が同じである。残りの僅か0.1%に、病気の発症リスクや薬剤に対する感受性などの、個人の違いに関係するゲノムの多様性が存在すると考えられている。ヒトゲノムの多様性が生じている場所やそのパターンと、疾患の発症や薬物に対する反応性の状態に関連して分析することは、疾病の発症原因の解明や新たな治療法の開発などに繋がると考えられる。そのためには、ヒトゲノムの多様性の位置を記したゲノム地図が必要である。

ヒトゲノムの多様性を示す指標として、SNPs(一塩基多型)がある。SNPsは、特定の場所の塩

用語説明

①ハプロタイプ

比較的近隣に存在する複数の遺伝子や SNPs などの組み合わせを指す。

基が、ある人々ではアデニン塩基であるのに対し、それ以外の人々ではグアニン塩基であるという様な、1つの塩基の違いをいう。個人同士の比較ではなく、ヒト集団で考えると1千万個のSNPsが存在し、その出現場所はゲノム全域に広がっていると推測されている。

近接したゲノム情報を含めたSNPsのパターン（構造）はハプロタイプ^①と言う。このハプロタイプの位置と構造を示した地図の作製が、国際HapMapコンソーシアムで進められている。ハプロタイプ地図を作成することを目的とした国際HapMapプロジェクトは、2002年10月から開始された。当初、1千万個の全SNPsを決定するには多大な費用がかかると予想されたため、10分の1である100万個のSNPsの位置や構造を解析することが計画された。ヒトゲノムは30億個の塩基から構成されているので、100万個のSNPsの位置情報を含む地図では、ゲノム3,000塩基に1個のSNPsが存在する地図ということにな

る。計画では、2005年9月にハプロタイプ地図を完成する予定であった。

2005年2月7日に国際HapMapコンソーシアムは、当初の目的のハプロタイプ地図の作成が完成したと発表した。同時にコンソーシアムは、官民から330万ドルの追加支援を受けて、さらに詳細なハプロタイプ地図の作成にとりかかると明らかにした。330万ドルの追加予算は、英国Wellcome Trust 財団、Genome Canada、Bristol-Myers Squibb社、Pfizer株式会社、Perlegen Sciences社、NIHGRI（米国国立ゲノム研究所）などからの支援によるものである。

新しい計画では、全SNPsの2分の1にあたる500万個のSNPsの位置情報を含む地図を作成することを決定した。新しいハプロタイプ地図は、ゲノム600塩基に1

個の割合でSNPsが存在する詳細な地図になり、SNPsの位置情報と既に知られている疾患に関わる遺伝子の情報などと組み合わせて分析することにより、喘息、ガン、心臓病等の疾患に関連する遺伝子の解明に繋がるのではないかと期待されている。

また、プロジェクトでは、人類のルーツや人種ごとの遺伝的な共通性や多様性を解明する試みもおこなわれており、カナダ、中国、日本（理化学研究所）、ナイジェリア、英国、米国の研究機関が参加している。

参 考

- NIH News より：
<http://www.nih.gov/news/pr/s/nhgri-07.htm>

情報通信分野

①日本技術者教育認定機構が国際認定機構に正式に加盟する見通し

JABEE「日本技術者教育認定機構（吉川弘之理事長）」は、国内で技術者教育の認定を行う機関である。大学など高等教育機関で実施されている技術者教育プログラムを外部機関が公平に評価し、一定の要求水準を満たしているものを認定する。この制度により認定された教育機関で、所定の教育プログラムを修了した卒業生は、国際標準を満たす教育を受けた技術者であると認められる。技術者の国際間の人材流動が進む中で技

術者雇用の基準を与える。

JABEEが国際標準を満たすためには、国際的相互認証を定めたワシントン協定に加入する必要がある。JABEEは、1999年に発足以来、この協定への参加を前提として活動してきたが、今年6月には正式加盟する見通しである。

各分野の認定基準の策定は関連する学会が担っており、学会は、JABEEの会員としてその運営に関わるとともに、技術者教育プログラムの審査を実施する。2004年5月現在、JABEEによる認定済み教育プログラムは102で、その内訳は、土木19、機械18、化学17、などとなっている。

特に情報教育関連では、技術の

変化が激しいため、審査基準が比較的短期間に改定されてきた。関連する分野の認定基準は2種類存在し、それらによる認定数の合計は15である。内訳は、電子情報通信学会が審査する「電気・電子・情報関連分野」が10、情報処理学会が審査する「情報分野」が5である。

最近米国では、情報学（Computing）に関する最新のカリキュラム体系CC2004（Computing Curriculum 2004）が策定された。これは、米国の認定機構であるABET（Accreditation Board for Engineering and Technology）が、IEEEおよびACMと協力して策定したもので、「コンピュータサイエンス

(CS)」と「コンピュータ工学(CE)」分野に加えて、近年特に教育内容の充実が叫ばれている「情報システム (IS)」「ソフトウェア工学

(SE)」「情報技術 (IT)」からなる。国内でも、大学における情報処理教育のあり方は、産業への人材供給や就業者の生涯学習の観点か

ら注目を集めている。JABEE による認定が浸透することで、我が国の情報処理教育の質的向上に資することが期待されている。

環境分野

①中部国際空港における 海域生物環境を配慮した 取り組み —バイオ技術を利用した 人工藻場の造成—

2005 年 2 月 17 日に開港した中部国際空港の特徴のひとつに、環境への配慮があげられる。空港は、市街地への航空機騒音を低減するため海上を埋め立てて建設され（離着陸時の騒音は市街地では騒音基準以下）、島の形状は伊勢湾を南下する海流が空港島によって阻害されないように設計されている。また、空港島の護岸には自然との共生を意識した取り組みが施されている。

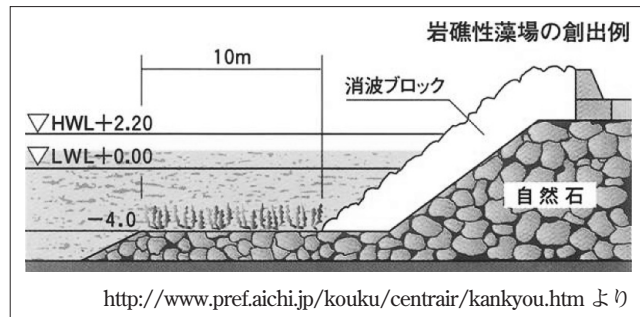
空港島の西側及び南側の護岸は、海域生物にとって新たな生育環境となるよう、延長約 6.5km にわたり、幅 10m の小段を有する自然石を利用した傾斜堤護岸となっており、大型藻類が生育できる基盤が造成されている。大型藻類が群落を形成しているところ（藻場）は、魚介類の産卵場、仔魚の生育場として、海洋環境として非常に重要なものである。しかし、

近年全国的に藻場が減少しており、磯焼け（海藻群落が喪失したあとに無節サンゴ藻が発達し、ウニが多数生息する）といわれる状態が多く、多くの海域で広がり、海洋環境の悪化が問題となっている。このような背景のもと、空港島護岸において、人工的に藻類を移植し生育を促進する藻場造成事業が進められてきた。

今回、西側護岸の約 70% の範囲（約 2.8km）は、バイオ技術による大型藻類の種苗生産技術が導入された。このような大規模事業において、バイオ技術による人工種苗が適用されるのは我が国では初めてである。本技術は、(財)国際環境技術移転研究センター(ICETT)と中部電力が共同で研究し、開発したものである。藻場の造成は、まず陸上の水槽で藻類（アラメ、

カジメ）の胞子を培養、育成して種苗を生産し、次に藻類の種苗をくさび型藻礁に取り付け、その後自然石護岸にはめ込む手順が進められた。本技術の大きな特長は、全国的に希少となった天然藻場から、大量の母藻を採取するのではなく、その胞子を採取して培養し、培養液の濃度や温度、照度を一定条件下で管理することにより、必要なときに必要な量の種苗を計画的に生産できる点である。

現在、空港島の傾斜堤護岸や造成された人工藻場には、アオリイカの卵やメバル、クロダイ、サザエなどさまざまな魚介類がみられ、自然との共生が進みつつあることが確認されている。なお、藻場生物（海草藻類、大型底生生物）生息生育状況のモニタリングは、今後も引き続き行なわれる。



ナノテク・材料分野

①米国 2005AAAS Annual Meeting で連日ナノテクノロジーが取り上げられた

2005 年 2 月にワシントンで開かれた米国 2005AAAS Annual

Meeting で、連日、ナノテクノロジーのセッションが開かれ、多くの参加者が集まった。

毎年異なるテーマでテクノロジーの話題が取り上げられる Nanotechnology 2005 のセッションでは、今年は「ナノスケールシ

ステムの計測と製造技術」と「生体から学ぶ材料とナノシステムの新領域」の話題が集められた。最近のナノテクノロジー研究の傾向として、それぞれの研究開発において、コンピュータシミュレーションあるいはモデリングが

頻繁に併用されるようになったことが指摘された。これらのシミュレーションやモデリングは、従来から材料設計を意図して行なわれてきたような大掛かりな計算によるものではなく、むしろ、作製しようとするナノシステムを明確にイメージするための手軽なものを指している。また、生体から学ぶ(Bioinspired)という新領域では、植物の微細構造や動物の体内構造・機能などにヒントを得た柔軟

な発想による分子機械、センサチップなどのシステムが次々と試作されている。これらはすぐに実用化できる段階のものではないが、医療応用を目指すのとは違った意味でのナノバイオロジー領域の研究開発も非常に活発になってきていると言える。

一方、ナノテクノロジーの社会的側面に関しては、「社会との関わり」と「健康や環境に関する側面」の2つのセッションに分けら

れて、それぞれ独立して議論されたことが特徴的である。米国や英国では、ナノテクノロジーは科学と社会の関係を論ずるひとつの事例となっている。国民のナノテクノロジーに対する印象にはメディアの影響が大きい。また、国民の理解を得るためには、リスク対ベネフィットのバランスが焦点であることが指摘された。

エネルギー分野

① ドイツ、米国における太陽光発電導入の動向

再生可能エネルギーの主役のひとつである、太陽光発電。ドイツでは、2004年に新規導入太陽電池発電容量が約300MW（全発電容量の約0.2%）に急増、単年では日本を抜いて初めて世界一になった。2005年1月には、世界最大級の10MWの太陽光発電（PV）プラントがバイエルン州に建設された。本プラントは、米国カリフォルニア州に本社を置くパワーライト社が率いる提携事業により設置され、57,600枚のPVパネルを利用する。送電線網との連結は地元ドイツ電力会社が各所で請け負い、20年間の電力買取も保証されている。

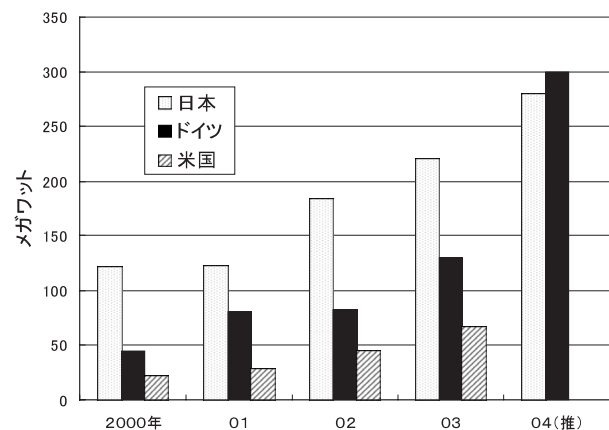
ドイツ政府は、2000年に施行した新エネルギー法で、風力や太陽光など再生可能エネルギー発電の電力を電力会社が電気代より高い価格で購入することを義務づけた。価格は、発電方法や設置場所（屋根設置か地面設置）によって異なる。電力会社の購入期間は20年間で、購入費用を電気代に上乗せして回収する。

ドイツ国内トップシェアを持つ

コナジー社では、2004年の太陽光発電設置容量が76MWと2003年の2倍になった。一般家庭や農家への導入だけでなく、不動産会社などが投資家を募る太陽光発電プロジェクトの導入も増加した。同社は、ドイツ国内で100ヶ所を超える電気工事店などとフランチャイズ契約を結び、太陽光パネルなどの故障時には24時間以内で修理する体制を整備した。インターネットで設備の稼動状況や問題点などをお客様に知らせるシステムを提案するなど、細かいサービスで個人顧客をとらえている。

米国は、太陽光発電累積導入量

太陽光発電の導入状況（単年あたり設置容量ベース）



<http://www.jpea.gr.jp/4/4-2-4.htm>、http://www.greenpeace.or.jp/campaign/climate/sg/now_html、日経産業新聞2月17日2面のデータをもとに科学技術動向研究センターにて作成。

は日本、ドイツに次ぐ世界第3位であるが、単年あたりの新規導入量は、ここ数年、日本、ドイツに比べ伸びが小さい。本年2月に、太陽エネルギー産業協会は、過去10年間にドイツや日本に奪われた市場シェアを取り戻そうと、①今後10年で340億ドル以上の太陽エネルギー関連新規市場を創出するとともに、②2030年までに26万人の新たな雇用を確保するための政策提案を連邦議会に提出した。今後、太陽光発電が他のコストの安い発電方式と競合するには、需要を増やして発電コストを下げしていく必要がある。具体的

には、10 年後の目標として、発電コストが現状の 18～25 セント /kWh から 5.7 セント /kWh になるよう税控除などの助成制度を継続し需要を増やしていくことを要求している。

累積導入量が世界一の日本では、「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法 (RPS 法)」で電力会社に再生可能エネルギー利用を求めている。しかし、電力買い取り価格は、電力

会社に委ねられている。再生可能エネルギー導入者がメリットを得やすい仕組みが普及を後押ししているドイツに、今後、日本も注目していく必要がある。

《補 足》

家庭に必要な分を上回る量の電力が発電された場合、カリフォルニア州では、ネットメータリング法の規定にしたがって、その余剰電力を電力会社に売り戻せる。本法のおかげで、これらの家庭では日中にエネルギーをピーク時の価格で販売でき、夜間に必要なエネルギー購入代金を埋め合わせることができる。

製造技術分野

①低コスト化が期待できる酸化チタン精製の新手法が開発された

新潟大学の戸田健司助教授と佐藤峰夫教授らは、顔料や触媒に使用される酸化チタンを鉱石から安価に精製する新手法を開発した。

酸化チタンは現在、年間約 26 万トンの需要があり、電子セラミックスの原料としても重要である。

酸化チタンは結晶構造の違いにより、ルチル型（高温型）とアナターゼ型（低温型）に分けられる。ルチル型は、主として塗料や印刷インキとして用いられ、用途全体の 60%以上を占める。一方、アナターゼ型は、その強い酸化力を利用して有機物を分解できるため、光触媒として、殺菌、消臭、防汚などの用途に使われている。

今回の新手法開発はルチル型

酸化チタンの精製について成されたものである。新手法は酸化チタンを約 95%含む天然ルチル鉱石に、炭酸ナトリウムと、イットリウムなどの希土類酸化物を加え、800℃程度に加熱する。そうすると、チタン酸化物はナトリウムや希土類元素と反応し、酸に不溶なルチルから酸に可溶な層状ペロブスカイト型酸化物に変わる。

これを水で薄めた硝酸に溶かした後、蒸発乾固し、水洗することにより、ほぼ 100%純度の酸化チタンを得ることができる。

従来の精製法は硫酸法と塩素法の 2 つの方法が行われている。硫酸法は廃液、排ガスの処理設備に多額の費用を要するのが難点とされる。塩素法はルチル鉱石を 900℃以上の高温の塩素ガスと反応させるため、取り扱いが難しく、製造装置の腐食等の問題点があった。

新手法は硝酸を使用するものの、乾燥温度を 90℃程度まで低くできるため、エネルギー削減ができ、また装置腐食のリスクも低く、安全性も高いプロセスである。さらに希土類元素や硝酸などは回収して再利用することができ、プラントも小型ですむため、製造コストは約 3 割近く減らすことが期待できる。

現在は顔料向けのルチル型の酸化チタンの精製に成功した段階であるが、新手法ではルチルとアナターゼを作り分けられる可能性があるため、光触媒向けに需要が増えているアナターゼ型酸化チタンの精製手法としても期待される技術である。酸化チタンのもうひとつの原料であるイルメナイト (FeTiO₃) から硝酸を用いて酸化チタンを精製できるかも今後の課題である。

フロンティア分野

①地球深部探査船 「ちきゅう」の公式試 運転開始と統合国際深 海掘削計画の動向

人間の皮膚に当たる地殻を通り抜けると、地球の体内ともいえるマントルの最も外側部分に達する。地殻の厚さは陸地では標高が高いところほど厚く、50～60kmにもなるが、海底では7kmにも満たない場所があると考えられている。

海底下では比較的短距離の掘削によりマントルの物質を試料として直接入手できる可能性があることから、我が国では海洋研究開発機構（JAMSTEC）が地球深部探査船「ちきゅう」を建造し、2007年からの国際運用開始を目指している。「ちきゅう」は2002年1月に進水し（2002年2月号トピックス参照）、長崎でデリック（掘削用やぐら）の取り付けを行い、2004年12月に公式試運転を行った。「ちきゅう」は全長約210m^{（注1）}、総トン数^{（注2）}57,500トン、搭乗人員150名の大型船舶で、深海底から前人未到の7,000mの掘削能力を有するライザー付き掘削装置を装備していることが大きな特徴である。ライザーとは、中心を通るドリルパイプの外側に設けるもう1つのパイプのことで、これにより掘削に必要な泥水（でいすい）を二重になった管内で循環使用することができ、ガスや油田などを含む地層でも掘削が可能になる。

深海底掘削を行うプロジェクトは国際的な協力の下で行われており、2003年まで米国主導で実施された国際深海掘削計画（ODP）や、「ちきゅう」の建造を目的とした我が国のOD21計画などを統合して、統合国際深海掘削計画（IODP）（2002年10月号トピックス参照）に進展している。IODPは日本（文部科学省）と米国（全米科学財団）が覚書を締結して研究人員や資金面などで対等に運営を行うものであるが、欧州海洋研究掘削コンソーシアム（ECORD）や中国なども参加国覚書により資金分担に見合った研究機会を得られることになっている。

2004年6月に、IODPの最初の研究航海として、米国の深海掘削研究船「ジョイデス・レゾリューション（JR）号」により北東太平洋のファン・デ・フーカ海嶺の掘削を行った。乗船した24名の研究者中日本人は8名であった。なお、JR号の掘削装置にはライザーは設けられていない。

この後、8月には史上初めて北極点近くのロモノソフ海嶺において、ECORDが中心となって掘削船「Vidar Viking号」と砕氷船2隻の船団により海底の試料を採取

五島列島南方海上で公式試運転を行った「ちきゅう」



デリックの先端は海面から約112 mの高さになる。
Photo by JAMSTEC

し、ドイツのブレーメンで試料解析を行った。続いて9月から11月にはJR号が過去数百万年の気候変動を千年単位で調査する目的で北大西洋の研究航海を行った。さらに11月から2005年3月にかけて大西洋中央海嶺でマントル物質採取をめざす研究航海を行った。これらの航海には日本人研究者がそれぞれ数名ずつ参加している。

今後も次々に研究航海が行われる予定であり、JR号以上の掘削能力を有する「ちきゅう」が2007年以降IODPの主要な担い手として成果を得ることが大いに期待される。

（注1）世界最大のタンカーは全長440m。

（注2）総トン数とは、船体内部の総容積に国土交通省令で定める係数を掛けたもので、単位をトンとする（排水量を表すトン数や積載可能重量トンとは意味が異なる）。

《略 語》

JAMSTEC：Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

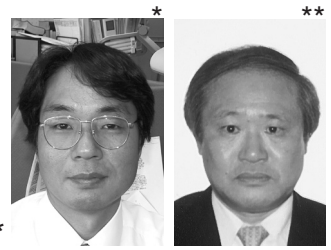
ODP：Ocean Drilling Program

IODP：Integrated Ocean Drilling Program

特集①

LSI 設計技術の研究開発動向 —電子機器の付加価値を支配する システム LSI 開発のボトルネック—

情報通信ユニット 小松 裕司*
情報通信ユニット 野村 稔**



1. はじめに

1-1

価値の源泉は LSI に

電子機器の小型、低消費電力、多機能等の性能向上は、その基幹部品である半導体 LSI 技術の進展による寄与が大きい。これまで幾つかの異なる種類の LSI を大きさが数センチ四方の回路基板上に組み上げ、この基板を何枚か用いて、電子機器の主要部品を構成していた。これらの基板は、大きさが数ミリ四方の 1 チップのシステム LSI と呼ばれる LSI に置き換わりつつある。

この結果、電子機器の性能や値段は、このシステム LSI に大きく

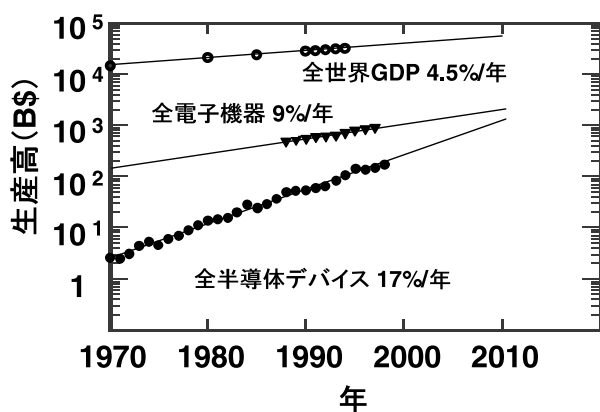
左右される事になる。図表 1(a)は、全電子機器と全半導体デバイスそれぞれの生産高の推移を全世界の GDP と共に示したものである¹⁾。GDP が年率 4.5%の伸びを示しているのに対して、全電子機器の生産高は年率 9%の伸びを示している。これは、より多くの電子機器が使用される様になって来ている事を示している。また、全半導体デバイスの生産高の伸びは年率 17%と全電子機器の生産高の伸びより大きく、電子機器に使用される部品の中でも半導体デバイスの占める割合が大きくなっている事を示している。

図表 1(b)は、現在の電子機器における半導体デバイスが占める価

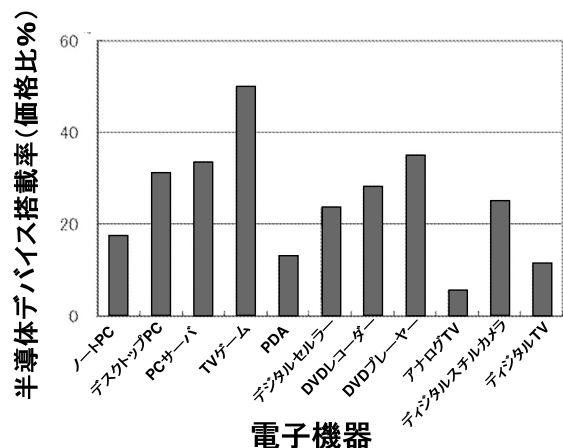
格の割合を幾つかの電子機器について示したものである²⁾。一般にデジタル化により、信号処理等の機能は複雑になり、半導体デバイスの搭載比率が増加する。また、特にパソコンやゲーム機は、半導体デバイスの占めるコストの割合は大きく、既に製品の半分に達する場合もある。

やがて電子機器製品のコストの殆どは、LSI のコストになるであろう。電子機器の価値の源泉がシステム LSI に集約され、電子機器のビジネスの成否は、システム LSI の開発の成否により決まる事になると言える。

図表 1 電子機器と半導体デバイスの生産高推移と現在の電子機器に占める半導体デバイスの搭載率



(a) 電子機器と半導体デバイス生産高の推移



(b) 電子機器に占める半導体デバイスの搭載率

参考資料^{1,2)} から転記

1 - 2

危機を迎える LSI 設計

図表 2 は、技術を用いた製品やサービス、生産工程（以下、製品等と記す）の「研究開発に要した期間」と製品等により「利益の得られた期間」の研究開始年に対する推移を示している。ここ 30 ～ 40 年間で、製品等の研究開発に要した期間の減少がわずかであるのに対して、製品等から利益が得られる期間が急速に短くなっている事が分かる。かつて、5 倍程存在した両期間の比が、近年では 12 倍

程となっていて、製品等の寿命の短命化が進んでいる事が分かる。

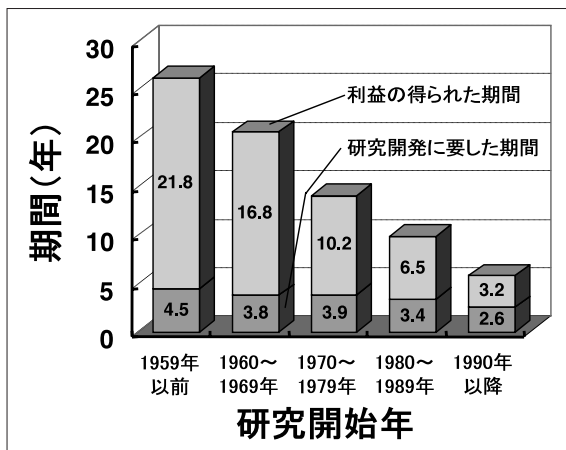
この様に短命化する製品等のライフサイクルの下で優位にビジネスを展開する為には、これまでよりも新たな製品等を短期間で市場に投入する技術が必要とされている。電子機器の場合はそれを構成する LSI を短期間で開発する技術が求められている。

ところが、システム LSI の開発は、危機に瀕しつつある。シリコン半導体 LSI の製造生産性（集積度）は、ロードマップ（ITRS）の予測を前倒しにしながら技術開発が進んでいる。一方で、LSI 設

計の生産性は、これに追随していない⁴⁾。LSI 製造技術の向上により、1 チップの LSI に集積されるトランジスタの数は、年率 58%（3 年で 4 倍）で上昇しているが、1 人当たりの LSI の設計生産性は、設計の自動化ツールやコンピュータの計算能力の進歩をもってしても年率 21% でしか増加していない（図表 3）。

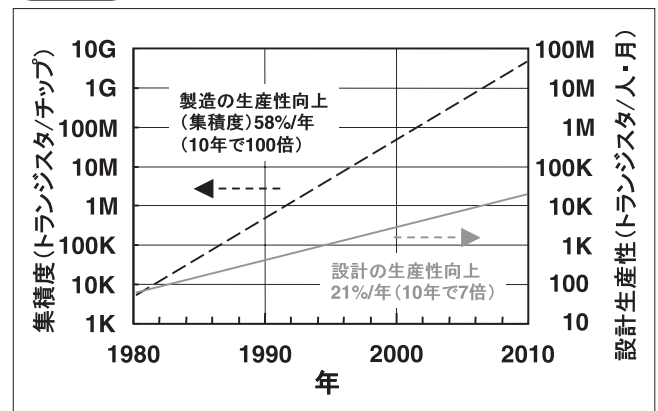
本特集では、電子機器の価値の源泉に大きく影響するシステム LSI を中心に、LSI 設計技術の研究開発動向について述べ、その課題を探る。

図表 2 製品等の研究開発に要した期間と製品等により利益の得られた期間の研究開始年に対する推移



参考文献³⁾ のデータから科学技術動向研究センターにて作図

図表 3 製造可能な素子数と設計可能な素子数の推移



国際半導体技術ロードマップ (ITRS) より

2. LSI 設計技術について

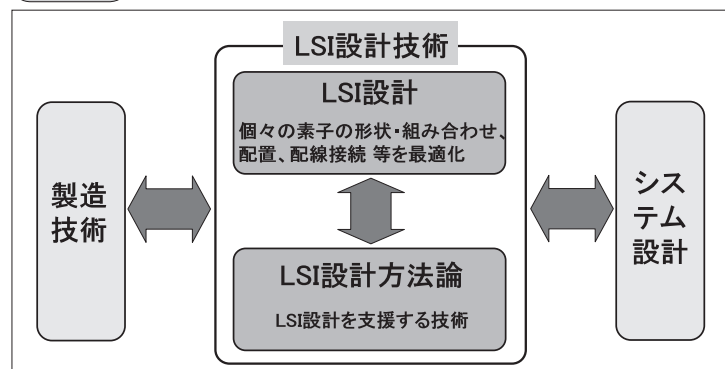
2 - 1

LSI 設計技術とは

LSI 設計技術は、利用可能な製造技術をベースに、個々の素子の物理的な形状やそれらの組み合わせ、相互の物理的な配置状態、相互の配線接続等を最適化し、システムの要求仕様を満たす論理演算機能や電気特性等を有する LSI を実現する技術である（図表 4）。

この最適化の一連の流れの中

図表 4 LSI 設計技術



科学技術動向研究センターにて作成

図表 5 LSI 設計自動化技術発展の歴史

年代	主な記述形態	記述レベル	内容	主なツールベンダー
'70～	マスク図形	素子の物理的形状	マスクの各層毎に 2 次元的な実態レイアウト図形で表示	Applicon (1969) Calma (1970) Computervision (1972)
'80～	回路図	トランジスタ等の素子	各素子や論理ゲートのシンボル図形で表示	Daisy (1980)、Mentor (1981) SDA (1983、後の Cadence) Optimal Solutions Inc. (1986、後の Synopsys)
		論理ゲート		
'90～	テキスト形式の言語	レジスタ転送	データの流れや一連のデータ処理に沿って、テキスト形式の言語で記述	Syntest (1990)
		トランザクション		
		動作	システムの各動作を記述	CoWare (1996) TenSilica (1997)

() 内は設立年

科学技術動向研究センターにて作成

で、LSI の設計を行う技術とその LSI 設計を支援する技術とを分けて考える必要がある。それぞれで必要とされる知識や技術内容が大きく異なるからである。また、これら 2 つの技術の品質も異なる指標で評価される場合が多い。

例えば、LSI 設計の品質は、設計された LSI チップの速度や消費電力等の性能で評価される。一方、LSI 設計を支援する技術は、どれだけ短時間に沢山の素子から成る LSI の設計を行えるか等の作業効率の改善が主な指標となる。製造技術の影響を大きく受ける素子の設計を行う場合、物理現象や素子の特性をモデル化し、このモデル記述で素子を置き換え、素子の形状等を変化させた時の素子の特性変化を計算機シミュレーションで見積もり、実際の試作を行わずに特性を最適化していく。この様な手法で、素子の設計の作業効率を改善する。この時、モデル化を行う事によって、物理現象や素子の特性を如何に忠実に再現しながら記述を簡略化出来るか、その結果、いかに短期間で精度の良い特性等の見積もりを行う事が出来るかが重要となる。

ここでは、LSI の設計を行う技術を単に LSI 設計 (Design) と呼び、これを支援する技術を LSI 設計方法論 (Design Methodology) と呼ぶ。本特集では、LSI 設計技術の中でも LSI 設計方法論に絞っ

て議論を進める。

2 - 2

設計自動化技術の発展

半導体製造技術の進展により、ムーアの法則に従って指数関数的に 1 つの LSI チップに集積される素子数が増加する中で、LSI の設計技術もこれに対応すべく、その方法論を変えて来た。その中で最も大きく進展したものは、EDA (Electronic Design Automation) と呼ばれる設計の自動化技術である。図表 5 にこれまでの EDA 技術の進展を示す。

EDA 技術は、過去約 10 年毎に LSI 設計の記述形態を大きく変えて来た。これまで、10 年毎に 1 つの LSI チップで使用可能な素子数は約 2 桁増加してきた。LSI の設計者がこの素子数の増加に対処する為には、個別の小さな工夫のみでは難しく、設計方法論を大きく変える必要があったと言えよう。この設計方法論の発展は、記述スタイルの抽象化の歴史でもあった (図表 6)。1 人の設計者が認識出来る回路や論理の規模に限界があるなら、設計対象の素子数の増加に応じて抽象化を行い、より上位の概念で設計を行う事が必要である。

この設計技術の進展に伴って、EDA ツールを供給する主にベンチャー企業が多数生まれ、また多

くが淘汰されてきた。これらのベンチャー企業の幾つかは、現在では、比較的大きな企業となり、汎用とも言えるデファクト標準の設計ツールを提供している。また、淘汰された企業がかつて提供していた規格は、例えば、マスク図形のデータのフォーマットである米国カルマ (Calma) 社の GDS II フォーマット等、現在でも広く使用されている場合もある。

なお、LSI 設計の記述スタイルは、図表 5、6 に示す様な進化をしているが、最初に開発された記述スタイルは現在でも改良され、“階層設計” という形で踏襲されている。

2 - 3

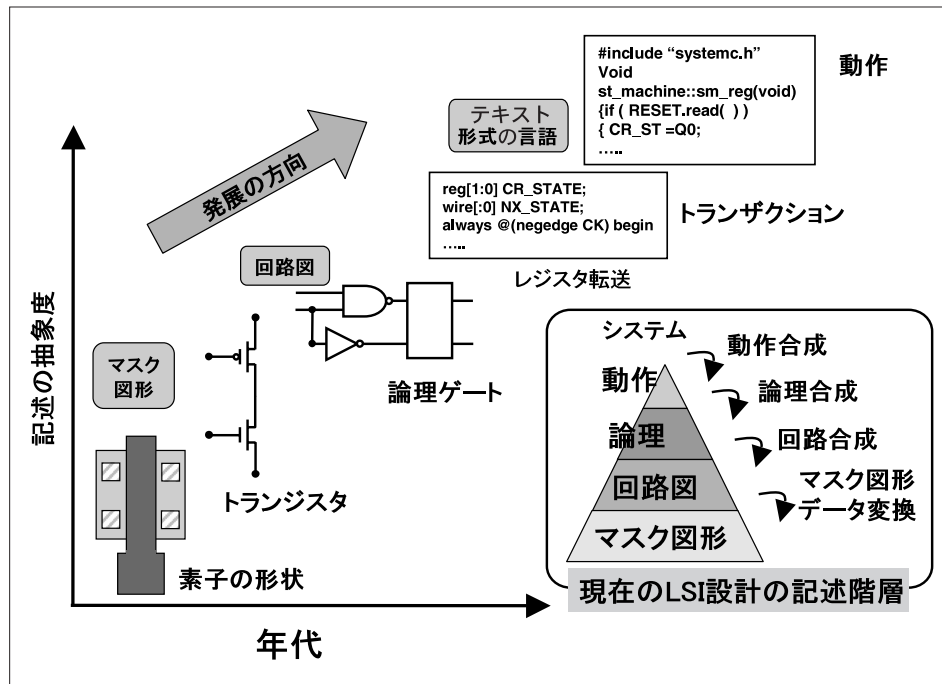
近年の研究開発動向

(1)ハード・ソフト協調設計

これまでのシステムの設計は、まずハードウェアとソフトウェアのインターフェースを決め、それぞれ仕様書に基づいて独立の開発を進める事が多かった。しかしながら、システムの規模の増大に伴い、インターフェースの曖昧な部分が後から発覚したり、ハードウェアの設計上の課題を後からソフトウェアにしわ寄せしたりする等の問題が頻繁に発生するようになった。

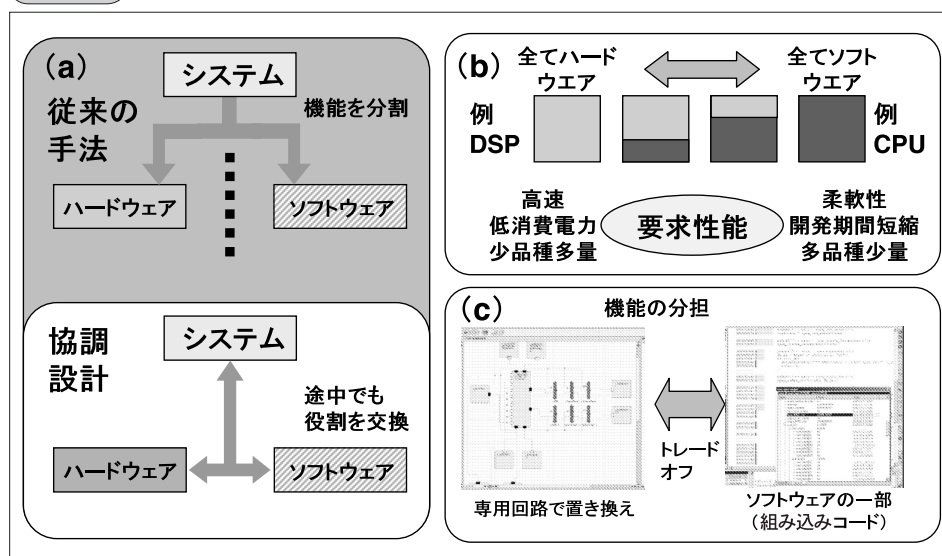
これに対して、ハード・ソフト協調設計は、システム全体が最適

図表 6 LSI 設計記述スタイルの進展と現在の設計階層



科学技術動向研究センターにて作成

図表 7 ハード・ソフト協調設計



科学技術動向研究センターにて作成

化する様に設計・評価しながら、ハードウェアとソフトウェアのトレードオフの中で、それぞれの役割分担やインターフェースを決めて行く方法である（図表 7(a),(c)）。システムとしてどのような性能を優先するかにより、LSI の機能をハードウェアで実現するかソフトウェアで実現するかが変わってくる場合が多い。ここで LSI の機能をハードウェアで実現するには、それぞれの機能に対応した専

用の回路を設計して行く。一方、LSI の機能をソフトウェアで実現するには、汎用の回路の上で動作するそれぞれの機能を有するソフトウェアを用いて行く。システムのより沢山の機能をハードウェアで実現する程、システムは、高速、低消費電力となる。これは、一般に開発期間が長くなりやすく、少品種多量の製品向けである。一方、ソフトウェアで実現する機能が増える程、これらの性能は低下する

が、システムはより柔軟になり、開発期間も比較的短く収める事が可能となる。これは、多品種少量の製品に向く（図表 7(b)）。ハードウェアの記述スタイルが、図形からハードウェア記述言語と呼ばれるテキスト形式の言語に発展した事はハード・ソフト協調設計に、有利に働いた。ハードウェアもソフトウェアと同様の記述スタイルとなる事で、LSI の初期（上流）の設計から、最終的な

動作検証に至るまで、ハードウェアとソフトウェアとの間での相互のやり取りがそれまでよりもスムーズに行えるようになった為である。1990 年代の初めの頃には、既に LSI のハードウェアの設計も、殆どがコンピュータ上で行われ、その動作検証についても、コンピュータ上の論理シミュレーション等で行われる事が多かった。しかし、ハード・ソフト協調設計手法が導入される以前は、システムの開発においては、ハードウェアとソフトウェアとで最初に分担する機能を分けてから開発するのが通常であった。

また、ハード・ソフト協調設計を行う事は、システム全体の開発期間短縮の上でも利点がある。それまでは、ハードウェアの仕様が確定してから、その上で動作するソフトウェアの開発を行うという時間的にも両者を分離した開発が行われていた。ハードウェア上の問題が最初はソフトウェアの工夫で対処する試みが行われる場合が

多いが、それでも対処できない場合はハードウェアの設計まで戻らなければならない、再設計時の時間的ロスは増大してしまう。再設計による上流部分の戻りを最小限に抑えるのにもこのハード・ソフト協調設計は有効である。

(2) LSI 開発期間の短縮化技術

これまで説明した LSI 設計技術は、大規模化する LSI を如何に短時間で設計し、製品化するかにある程度答えるものではある。しかしながら、これとは全く別の発想で製品化までの時間を短縮する方法が、特に製品寿命の短命化に伴って、注目を浴びている。前節までで説明した製品開発では、LSI の設計が完了してからそれに対応したフォトマスクを準備して、LSI の製造を行うという工程を踏む。この場合、フォトマスクは、全て製品や顧客毎に特別に設計されている。これに対して、素子や配線を規則正しく配置した LSI をあらかじめ製造しておき、その

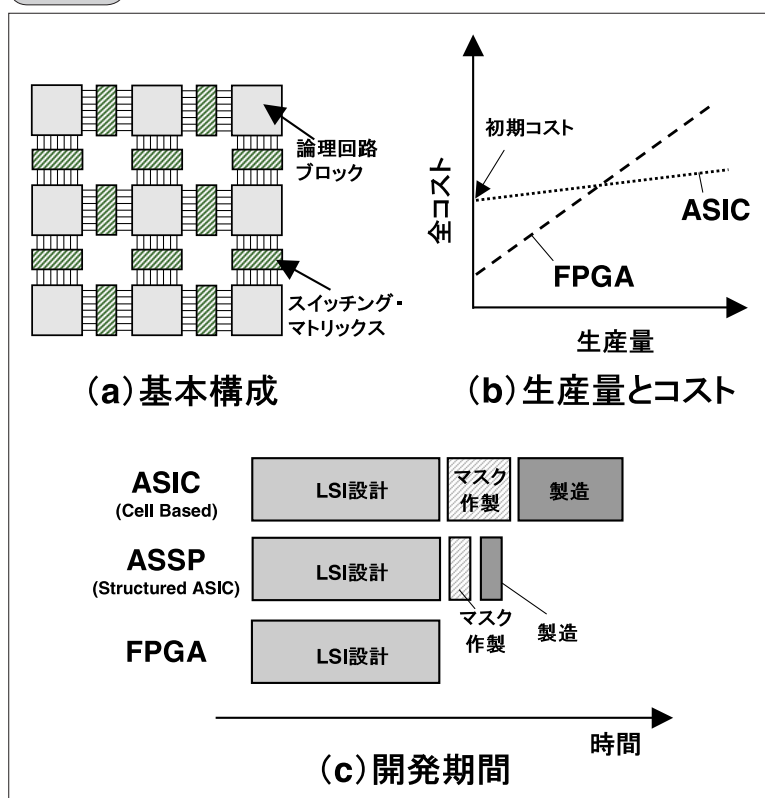
後、この内部の配線をユーザが電氣的に組み替えて、希望とする機能の LSI を得ようとするのが FPGA (Field Programmable Gate Array) や PLD (Programmable Logic Device) と呼ばれる LSI である。

FPGA は、例えば図表 8 の(a)に示すような論理回路ブロックとスイッチング・マトリックスと呼ばれるブロックが規則正しく並べられて構成される LSI である。LSI の製造は、基本的に共通のマスクを用いて、共通の製造工程で行われる。FPGA を製造後、プログラミングにより、スイッチング・マトリックスの内部配線を電氣的に切り替えて使用する。従って、FPGA は、製品や顧客毎に特別に設計されたマスクや製造工程で製造する必要は無い。マスクを顧客毎に作製する必要が無いので、開発の初期コストは従来の ASIC (Application Specific IC; 特定用途 IC) より、低くする事が可能である (図表 8 (b))。また、設計完了後、通常数ヶ月を要する LSI の製造期間が不要となるので、開発期間の短縮も可能となる (図表 8 (c))。

従来、FPGA は、スイッチング・マトリックスを実装する事による論理回路素子の使用効率や動作速度の低下、消費電力の増大等の課題をかかえていた。この結果、同世代の LSI よりも、集積化、動作速度、消費電力、価格等の面で不利であり、LSI 設計の動作検証用の試作品等の特殊な用途でわずかに使用されるに留まり、量産品に使用される事は、殆ど無かった。試作品で一度動作が確認されれば、物理配置配線をそれぞれの用途毎に変更し、再設計された LSI を、実際の製品とする場合が通常であった。

ところが、LSI 製造技術の急速な進展に対して、設計が追いついていない。この結果、スイッ

図表 8 プログラム可能な LSI による開発期間の短縮



科学技術動向研究センターにて作成

チング・マトリックスの付加により、同じ製造技術の LSI に対して特性が落ちて、最先端の製造技術の LSI をいち早く使用した方が、結果的に特性が良くなる場合がある。特に近年の微細デバイスでは、マスクの製造コストも 1 タイプ 1 億円を越す様になってきており、LSI 設計ミスによるマスク再作製の費用や開発期間増大のリスクを考えると一定値以下の生産数量では、コスト的にも FPGA が有利になる場合が多くなってきた（図表 8 (b)）。FPGA の技術の発展は著しく、米国ザイリックス（Xilinx）社の最近の FPGA 製品仕様では、90nm プロセスで、電源電圧 1.5V、複数プロセッサ内蔵、数メガバイトの大規模メモリ内蔵、システム周波数 500MHz、クロック・マネージメント有り等の LSI が実現可能となっている。

また、最近、ASSP（Application Specific Standard Products；特定用途向け標準製品）と呼ばれ、従来の ASIC と FPGA の中間の特性を有する LSI が注目を集めている。これは、LSI の製造の途中工程までは、共通のマスクで作製し、ある配線層よりも上の部分で仕様を顧客毎にカスタマイズした LSI であり、特性やコストは ASIC と FPGA の中間の値となる。この製品は、例えば携帯電話の場合等、システムの基本的な機能が機器の規格（この場合は無線通信の規格）により決まってしまう場合に有効となる。この場合、LSI の設計は、IP^①と呼ばれる再使用可能な回路の設計資産を利用して、これらを組み合わせて行う場合が多い。例えば組み込みプロセッサであれば、既にデファクトに近い状態で使用されている英国 ARM 社の IP のライセンスを受け使用する事になる。

ASIC は、セル（Cell）と呼ばれる論理ゲートの最小基本単位からそれぞれの企業毎に開発し、これ

用語説明

① IP

Intellectual Property の略。半導体技術の領域では、再利用を目的として流通する回路やデバイスの設計資産を指す。

②受動素子

入力信号電力を増幅する作用を持たない素子。物理的な形状や素子を構成する材料の特性により、素子の特性が決まる場合が多い。

を組み上げて LSI を作成する、日本の企業が得意としてきた垂直統合型の製品であり、少品種多量生産に適した製品となっている。ところが、デジタル家電では、信号のインターフェース等は、規格化される場合が多く、製品毎の性能差は出し難い。この場合、製品や顧客毎のカスタマイズも、機器の基本性能以外の部分で行われる場合が多い。

(3)アナログ回路設計の重要性の増大

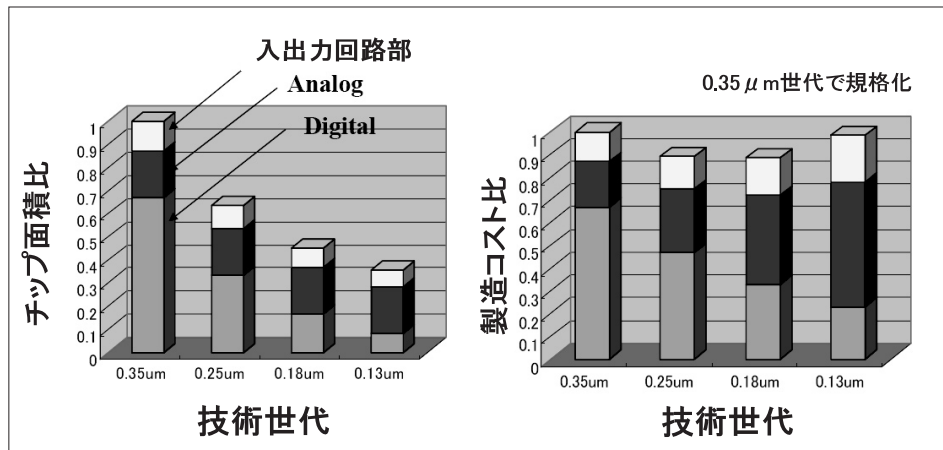
システム LSI において、デジタル回路の微細化やデジタル回路設計の自動化が進めば進む程、アナログ回路の重要性が増している。信号処理の大部分がデジタル化されても、アナログ回路は無くなる事は無い。人とのインターフェースの部分では、デジタル信号は人が認識できるアナログ信号に一旦置き換える必要があるからである。また、高密度データの記録再生や広帯域通信において、元のデジタル信号が外的擾乱や減衰により、デジタル信号として識別不可能となった時、アナログ技術を用いて、これを再生可能なデジタル信号に復元する場合が多い。このアナログ技術の領域は、デスクリート（個別部品）で回路基板を設計していた時代から、設計者には十分な知識と経験が求められる領域とされていた。アナログ技術は、小振幅・高周波の信号を扱う場合が多く、回路性能を測る指標がデジタル回路に比べて多数存在する。各素子を構成する材料や物

理の知識に加えて、全体を最適化する広範なシステムの知識が必要とされているからである。

一般にデジタル回路を構成する素子は、スケーリング則に従って、技術の世代毎に微細化しながら性能も向上させていく事が可能である。一方、アナログ回路の構成部品は受動素子^②も多く、例えばインダクタ等は、微細化と高性能化はトレードオフの関係にあり、技術の世代が進んでもそれほどサイズは小さくならない。結果的に、微細化するデジタル回路に対して、アナログ回路は占有面積が相対的に大きくなり、LSI の最終的な製造コストに大きく影響するようになる（図表 9）。また、設計の自動化が進展していない事、アナログ素子の性能が製造技術に大きく影響されシステムの性能を十分引き出す為には微調整が必要な事等から、アナログ回路の設計に要する期間が相対的に長くなっている。

LSI のチップ製造コストや開発コストが、アナログ回路に大きく影響される様になりつつある一方で、高周波アナログ LSI を使用した代表的な製品である携帯電話では、数ヶ月のサイクルでの新製品の開発競争が行われている。開発・製造のコストを抑えて、競争力のある製品とする為には、アナログ回路設計の占める割合が今後も増大していくと考えられる。ところが、短期間で技術者を養成出来ないこの領域では、技術者が今後一層不足する事も懸念されている。

図表 9 アナログ回路が LSI チップに占める面積と製造コストの推移



東京工業大学 松澤教授ご提供の資料⁵⁾ より

(4) 今後の展望

製造技術の進展に比べて設計技術は、生産性向上の点で進展が遅く、危機を迎えている事を第 1 章で述べた。この思うように進展しない設計生産性よりもさらにボトルネックとなりつつあるのが、設計検証やテスト技術である。これらの技術領域は、今後、システムの多様な要求に応じて LSI が複雑になればなる程、行うのが難しくなっていくであろう。しかし、こ

の様な領域は新たな技術の展開によって大きな発展が期待される領域でもある。

また、一方で製造技術の高度化に伴い LSI 設計は、製造技術との相互作用も複雑になりつつある。製造技術を考慮した設計 (DFM; Design For Manufacturability) や歩留まりを考慮した設計 (DFY; Design For Yield)⁶⁾ 等の新たな設計方法論の提案も相次いでいる。従来、LSI チップの最終的な歩留まりは、製造技術のみに依存する

と考えられてきたが、90nm 世代以降は設計品質の方がより大きく影響するとの報告もある。

今後さらに高度化する製造技術と多様で複雑な性能を要求するようになるであろうシステムとの橋渡しをしていく設計技術が、ますます重要になる事は容易に予測される。LSI 設計技術の進展無くして、システム LSI とこれに支えられる電子機器の進展は望めないであろう。

3. 研究開発の現状と課題

3 - 1

学会発表および登録特許件数より

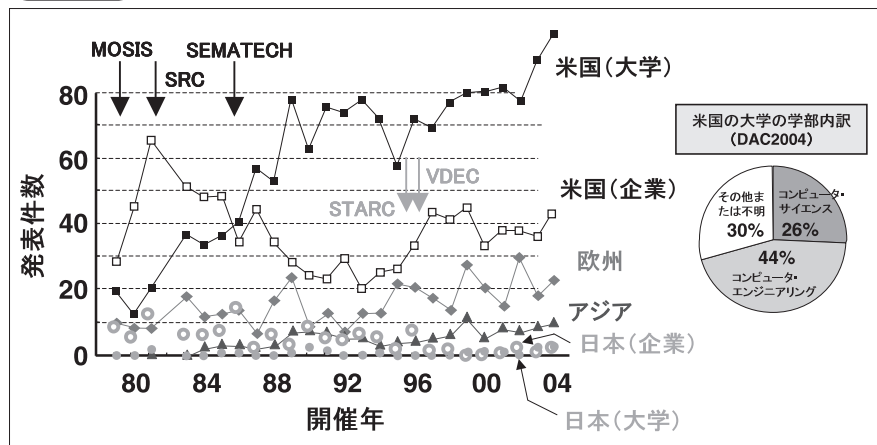
図表 10 に LSI の設計技術に関する最高峰の学会である DAC (Design Automation Conference) における発表機関の国や地域別発表件数の推移⁷⁾ を示す。

1980 年代の初めは、DAC での発表は、主に米国の企業が占めていた。その後、米国で MOSIS と呼ばれる政府出資の機関が LSI チップの試作サービスを、また、米国の民間企業の出資による SRC (Semiconductor Research Corporation) で産学連携の研究が開始されてからは、米国の大学が

らの発表件数が大きく伸びる事になる。1980 年代の初めは、民間企業を主体とする日本からの発表件数は、10 件前後を推移してお

り、欧州 (企業と大学の合計) からの発表件数と同等であった。ところが、その後、欧州が発表件数を徐々に延ばしているのに対し

図表 10 DAC における発表研究機関の国・地域別発表件数推移



発表件数推移は、半導体理工学研究センターの小澤顧問ご提供の資料より。米国の大学の学部内訳の図は、科学技術動向研究センターにて作成

て、日本の企業からの発表件数は 1990 年代以降減少し、近年は多くても 2～3 件程度となっている。日本でも、米国と同様の LSI 試作サービスである VDEC (VLSI Design and Education Center；大規模集積システム設計教育センター) や、民間企業出資の STARC (Semiconductor Technology Academic Research Center；半導体理工学研究センター) が 1990 年代半ばから活動を開始している。しかし、元々少なかった日本の大学からのこの学会での発表件数が、増加する兆しは、今のところ無い。

図表 10 では、米国と日本のみ大学と企業とを分けて発表件数を記しているが、DAC での発表件数は、米国以外の欧州や日本を除くアジアでも、企業よりも大学からの発表件数が多くなっている^(注1)。また、米国の大学からの発表件数の学部別の内訳を見ると、図表 10 の発表件数推移の右側に記した円グラフで示す様に、2004 年に開催された DAC の予稿集に記載されていて判別したものだけでも 7 割は、コンピュータ関連の学部からの発表となっている。

図表 11 は、日米欧それぞれの

(注 1) DAC2004 での論文シェアは、欧州の企業で 2%、欧州の大学で 12%、日本以外のアジアの企業で 0.8%、日本以外のアジアの大学で 10.2%となっている。

国や地域で登録された特許数の出願年別推移を示している。日本で登録される特許は、一般的には日本企業からの出願が多い。この事からすると 1990 年代の初めには、登録件数で日本の特許数は多く、この分野でもそれなりの研究開発が日本の企業内で行われていた事を示している。しかしながら、1990 年代以降の米国での登録特許件数の大きな伸びに対して、日本での登録特許件数は大きく水を開けられた形となっている。

従来、日本の企業は、垂直統合型の半導体事業を展開しており、LSI の設計ツールや設計資産も内製のものを使用するが多かった。この場合、設計方法論でも、研究開発が必要であった事が推測される。しかしながら、近年は、主に米国のベンダーがデファクトに近い EDA ツールや IP と呼ばれる再利用可能な設計資産を提供してきており、日本の企業は効率の観点から従来の内製のツールを置き換える場合が多い。学会発表や

登録特許の件数の推移もこの影響が出ていると考えられる。日本では、企業内においても、LSI の設計そのものは行うが、新規設計方法論を研究開発する動きが少なくなっていると言える。

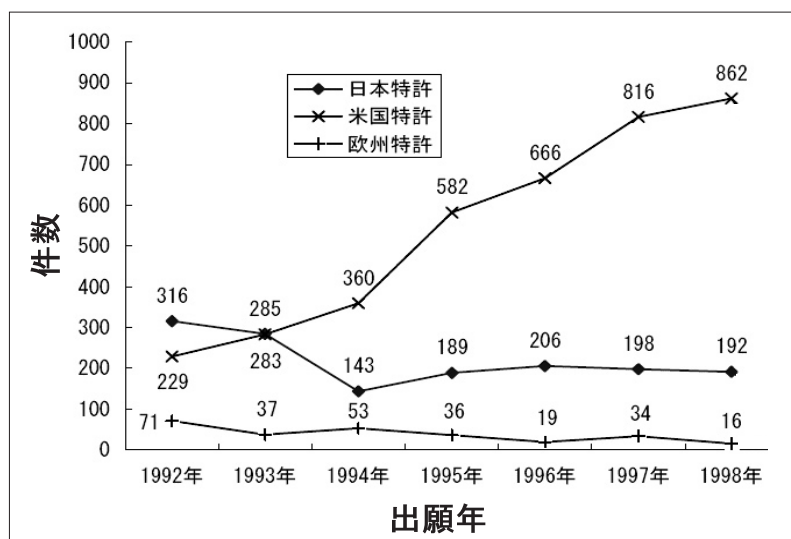
日本が設計技術で遅れた理由の 1 つに半導体メモリの生産での成功があると考えられる。メモリ LSI では、素子数が指数関数的に増大しても、単純にメモリーセルを並べるだけで、LSI 設計の複雑さはそれほど増大しないからである。1980 年代後半、日本に半導体の生産額で抜かれた米国は、メモリ以外の半導体製品の開発に特化した。LSI 設計技術の重要性をいち早く認識し、着実に技術開発を行って来たと考えられる。この間に蓄積された開発能力の差を埋めるのには、長期の取り組みが必要であろう。

3 - 2

各国の研究開発推進状況

図表 12 に LSI 設計技術に関して、各国や地域の研究推進活動の状況を示す^{9, 10)}。近年、この技術領域に最も力を入れ注目されるのは、台湾の動向である。台湾は、ファブリービゼスで成功を収めている現在から、国の指導の下、製造業中心から LSI 設計へと産業構造を転換しようとしている。LSI 設計技術を将来的に重点分野ととらえ、短期間の内に LSI 設計技術を強化している。2003 年度からスタートした設計技術を強化する Si - Soft プロジェクト¹¹⁾では、3 年間で 255 名を超える教授や助教授を主に米国から招聘し、金額的にも 4 年間で総額 1,000 億円(政府が 3 割、残り 7 割は民間企業が

図表 11 日米欧それぞれで登録された EDA 関連の特許件数の出願年別推移



参考資料⁸⁾ から一部抜粋

用語説明

負担)を投じる予定である。

米国では、EDA 技術の黎明期から国が大学の研究活動を中心に支援してきた。この結果、新たなベンチャーが盛んに発足し、その中の一部の企業は技術開発にも大きく影響を与えるに至っている。また、ベンチャーとは別にインテルや IBM 等の企業では、最先端の LSI 開発の為に、新たな LSI 設計方法論や EDA ツールも開発している。

欧州では、欧州委員会の指導の下、比較的早くから LSI 設計技術が IMEC などの産学連携を通じて強化されてきた。現在では、世界的な携帯電話メーカーであるノキアを顧客として、STMicroelectronics や IMEC を中

③ SEMATECH

SEmiconductor MANufacturing TECHnology の略。米国の国防総省と民間半導体メーカ 4 社が共同出資した半導体の製造技術に関する研究開発のためのコンソーシアム。1980 年代中頃に凋落しかかった米国半導体産業の競争力回復を目標とした。

心に無線通信等の高周波アナログ LSI に関する設計力で強みを発揮している。

韓国では 2005 年 2 月から組み込みシステム (Embedded System) に焦点を当てた設計技術の国家プロジェクトを発足させている。このプロジェクトで今後、組み込みソフトやシステムの開発力を強化するとしている。

中国では、LSI 設計の強化のみ

ならず自国の巨大市場を背景に LSI 設計方法論の研究開発にも力を入れている。現在、EDA ツールは主に米国のベンダーが供給しているが、中国は、将来的にこの米国のデファクト・ツールに対抗する中国独自の EDA ツールを開発してくる可能性が高い。

日本でも 10 年程前から、国のプロジェクトとして VDEC が、産学連携の活動として半導体理工

図表 12 各国・地域の研究推進活動状況

地域	国家プロジェクト等	中心メンバー	予算規模	特記事項
米国	MOSIS、SRC、MARCO による FCRP プロジェクト (1998 ～) 等。大学での設計、テスト、配線技術開発力強化。	UCB、イリノイ大、CMU、スタンフォード大、テキサス大等多数	SRC：約 45 億円／年、FCRP：10 億円／年	EDA ツールベンダーやインテル、IBM 等の民間企業でも技術を開発。インターフェース等の共通化を促す民間団体活動がある。
欧州	欧州委員会の中の情報通信分野担当組織が、半導体を重要戦略課題としてを強化。産官学連携が、Alba (スコットランド)、IMEC (ベルギー)、LETI (フランス) で進められている。	STM、地元の大学等多数	IMEC、Alba でそれぞれ 100 億円／年規模の予算 (半導体全体)	設計分野での人材育成強化が盛ん。ノキアを主なユーザーとした通信分野のアナログ ASIC で強み。
台湾	2003 年から 4 年間の Si-Soft プロジェクトを実行中。海外 (主に米国) から、教授や助教授を 3 年間で 255 名招聘し、大学研究者の倍増を目指す。この研究者の増員により、毎年 1,000 人を超える設計者 (修士、博士) の養成をはかる。	台湾大学、精華大学、交通大学、成功大学	Si-Soft プロジェクト 4 年間のプロジェクトで計 1,000 億円	国の主導の下、製造業中心から設計力を強化して、産業構造の転換をはかる。
韓国	ISRC の中に ESRC (Embedded System Research Center) を設置。組み込みソフト、SoC 設計技術、リアルタイム OS の研究。	KAIST、ソウル大学、ISRC (ESRC)	ISRC の予算：約 15 億円／年	サムスンが今後システム LSI に注力するとアナウンス。
中国	国家政策による IC 産業育成の 7 地域を指定 (上海、北京、無錫、成都、大連等)。国営の IC R&D Center (試作、EDA、テストサービス)。大学自身が多くの設計ベンチャー企業を内部に設置。	精華大学、上海交通大学、北京大学、復旦大学、大連理工大学		将来、EDA で中国標準を出すのと動きあり。
日本	VDEC、STARC で設計力強化。福岡県システム LSI 設計開発拠点化プロジェクト (2001 ～) や九州シリコン・クラスター計画 (九州半導体イノベーション協議会) で推進。	九州大、九州工業大、福岡大、早稲田大等半導体理工学研究センター (STRAC)	VDEC：予算約 4 億円／年、STARC 資本金：4.4 億円、ふくおか IST 予算：25.6 億円／年	主に地方公共団体の支援により、九州地方を中心に活動。

MOSIS：LSI の試作サービス機関。設立当初は政府出資であったが、近年は民営化されている。

SRC (Semiconductor Research Corporation)：参加企業のニーズにかなう研究を大学において推進することを目的とし 1982 年に設立。

FCRP (The Focus Center Research Program)：米国大学における非競争領域の研究を強化する為のプロジェクト。

IMEC (Inter-University Microelectronics Center)：1984 年に非営利組織としてスタート。現在、1,000 人を超える研究スタッフを擁する。

ISRC (Inter-university Semiconductor Research Center)：産官学連携の研究の推進を目的とし、1985 年に設立。

VDEC (VLSI Design and Education Center)：大規模システム設計教育センター。LSI 設計の教育と試作をサポートする大学向けの機関。

STARC (Semiconductor Technology Academic Research Center)：(株)半導体理工学研究センター。民間企業の出資による産学連携研究を支援する機関。

参考文献^{9, 10)}等を元に科学技術動向研究センターにて作成

学研究センター (STARC) がそれぞれ活動している。しかしこれらの活動の予算規模は、大きなものではない。近年、地方公共団体が中心推進母体となり、システム LSI 設計力を強化するプロジェクトが、福岡県に発足している。これらは地方公共団体や産業界の出資によるものが主であり、LSI 設計技術に関して、国が主体の比較的大きなプロジェクトは、日本には存在していないのが現状である。

EDA ツールや IP と呼ばれる設計資産を現在、ほぼ独占的に供給している米国では、次のステップとして、SEMATECH^③の成功モデルに習い、これらの設計環境や資産の再利用においてもインターフェースを共通化する動きが提案されている。例えば、VSIA (Virtual Socket Interface Alliance; 1996 年設立) や SPIRIT (Structure for Packaging, Integrating and Re-using IP within Tool - flows; 2003 年設立) 等の団体である。

SEMATECH では、非競争的な技術領域として、半導体製造装置間のインターフェースを共通化した。その結果、それまでそれぞれの会社や製造ライン毎に仕様がまちまちだった製造装置の可搬性が大きく向上し、どの会社の製造ラインでも同じ仕様の装置で LSI を製造する事が可能となった。この結果、製造装置はデファクト化し、半導体製造の分業化が進む事になった。

4. 技術競争力強化の為に

4 - 1

なぜ LSI 設計方法論か

EDA ツールの市場規模は、約 4,000 億円程度であり、半導体産業全体に対して 2% 程の小さな市場の 1 つである。しかし、LSI 設計生産性の向上は、この EDA ツールの発展と能力向上に大きく左右される事から、重要な技術領域であると言える。

DRAM を中心とする日本の半導体製造技術は、かつて世界の先端技術をリードしたと言われている。ところが、SEMATECH による製造装置間のインターフェース規格の統一が行われると、製造技術の分業化が大きく進み、デファクトとなった装置を揃えさえすれば、誰でも比較的簡単に最先端の LSI を製造する事が出来るようになった。この規格統一によって、日本が得意とされた摺り合わせの技術が、相対的な優位性を確保出来なくなり、製造技術は個々の製造装置に集約されてきたとも言える。この製造装置の開発では、必ずしも日本企業の競争力があつた訳ではない。また、製造装置ベンダーは、個々の装置の市場はそれほど大きく無い為、グローバルにビジネスを展開する場合が多く、こ

用語説明

④ IP ベース設計、プラットフォーム設計

プリント基板を用いる従来の開発と同様に、1 つの IP (機能モジュール等の設計資産) を LSI 上の仮想部品 (VC) として、また種類の異なる IP を仮想ソケット (VS) で組み合わせて、システム LSI の設計を行なう方法である。この時、種類の異なる IP の流通を促進する上で重要なのは、インターフェースの標準化である。

の様な装置を導入して半導体を製造するだけでは、技術的な参入障壁を築くのは難しい。

現在、LSI 設計においてもかつての DRAM と同様の事態が進行している。IP ベース設計やプラットフォーム設計と呼ばれる手法^④により、IP の流通性を向上させ、設計生産性を上げようとする動きが加速しているからである。前章で述べた団体の活動により、インターフェースの標準化が進めば、LSI 設計においてもより一層分業化が進むであろう。高度に自動化されつつあるそれぞれの設計ツールや流通性が向上する IP を購入して揃えさえすれば、設計そのものは比較的短期間に誰でも行う事が出来るようになってきた。この時、多少の工夫を加え設計を行う場合でも、道具や部品が同じであれば、最終的には同じ様な性能の製品が出来るであろう。この様に技術的な参入障壁が低下した時、

LSI 設計においても人件費コストが最終的な開発競争力を決める可能性が高い。

また、国家のレベルで考えた場合、様々な EDA ツールや IP を今後も国外のベンダーのみに依存していく事は、将来的に大きな課題となる可能性がある。半導体産業で突出した競争力をつけても、ある重要な EDA ツールが他国から輸出規制等された場合、LSI 設計が行えなくなる危険性がある。産業競争力以外にも国が使用する基幹部品の LSI の設計を国外のツールベンダーに依存する事は避けるべきである。中国は、この点を考慮してか、設計方法論や EDA 技術の研究開発にも注力している。将来、中国が独自の EDA ツールを中国発の標準として開発してくる可能性が高い。

LSI 設計の付加価値は、広く流通する IP や共通の設計ツールの元となる LSI 設計方法論に集約さ

れてきている。しかしながら、設計ツールの原理や中身が分からなければ、その課題や限界も分からず、新たに生じる設計の課題に対処する事も出来ないであろう。LSI 設計で、競争力のある技術開発は、次の世代の新しい設計手法を開発していく力であると言える。

4 - 2

考えられる対策

以上述べた通り、LSI 設計に関する日本の技術力は、かつて企業を中心に現在よりは高かった。しかしながら、最近では企業の開発競争力が低下し、一方で大学の競争力が思うように伸びていない。そして最近、日本以外のアジアの国・地域を中心に LSI 設計技術を短期間の内に強化する動きが盛んになってきた。

これに対して、日本の競争力を高める為に何をすべきか、以下に考えられる対策を述べる。

まず、最初に人材の確保と育成が必要である。新しい LSI 設計技術を開発する能力は、新しいアイデアを生み出し具現化していく能力であり、最終的には人材に依存する部分が多い。ところが、大学の研究者でこのシリコン LSI 分野、特に LSI 設計に関係する人材が、他の国と比べて日本には極端に少ないとの現実がある^(注2)。この1つの原因として、これまでの大学研究の課題の1つである、大学における研究テーマの産業構造との乖離がある。例えば、半導体全体に対するビジネス規模が1～

2%の砒化ガリウム (GaAs) 等の III - V 族半導体の分野に大学での半導体関連の研究の約 25% が占めているとの現実がある¹²⁾。この結果、日本では、大学におけるシリコンの研究者が他国に比べて非常に少なくなっている。このミスマッチを早期に解消するには、企業や外国からの大学研究者への採用を積極的行うべきであろう。

長期的には、この分野の日本における大学での教育内容を充実させていく必要がある。図表 10 で示した米国大学の学部内訳以外にも欧州や日本以外のアジアの国を含め、特にコンピュータ関連の学部のこの分野での活躍が目立つ。このことから、この領域の教育内容の充実が不可欠である^{12, 13)}。

新たな LSI 設計方法論の開発は、新たな LSI の設計を行う時に必要とされる場合が多い。

このことからすると国として重要な用途の LSI 設計を LSI 設計方法論の開発とともに日本が国家プロジェクトで推し進めるのも一案である。例えば、ユビキタス・ネットワークにおける基盤技術の1つであるセキュリティに関連する LSI 技術に注力する事があげられる。

この新規 LSI 技術は、電子マネーや個人認証、暗号処理等で安全な環境を構築する技術に深く関係する。この様な LSI の開発を通じて、日本独自の LSI 設計技術を強化する事が考えられる。これは、LSI の集積規模が必ずしも大きくは無く、最初は、まとまった市場が見込めるものでは無いかも知れない。しかし、国が関与するセキ

ュリティに関連する部分の LSI 設計は、ブラックボックスのまま諸外国のベンダーの EDA ツールや IP に依存し続けるべきでは無い。また、これによって新たな LSI 設計方法論が開発されれば、技術的な波及効果も期待出来る。

かつて、それぞれの企業で EDA 技術の開発を担当した技術者が、まだ日本には、存在する。これらの技術者を集めて、若い技術者も交えながら開発を行えば、まだ競争力を強化するポテンシャルは存在するであろう。逆に、この機を逃せば、LSI 設計技術について教える事が出来る人材もいなくなり、EDA ツールに加え、やがて技術者までも全面輸入に依存せざるを得なくなる可能性が高い。現在は、まだこれらの経験者を生かし、技術を継承出来る状況にある。

LSI 設計技術は、今後も各種の新たな課題に対処する事が求められるであろう。それは、現在挙げられるものでもアナログ回路設計や設計検証、テスト技術等である。これら以外にも、より複雑となるシステム LSI では、様々な課題が発生してくるであろう。一般消費者向け電子機器用のシステム LSI では、世界の他の国や地域よりも複雑なシステムが、最初に日本で市場に投入されている。この様に LSI 設計におけるシステム応用の課題を先取りするチャンスは、日本は最も恵まれていると考えられる。日本の企業のユーザとしての価値の高い要求が、EDA ベンダーのみに提示されるべきでは無い。企業と大学は、学会や展示会、産学間の交流を通し、技術課題を早期に共有していくべきである。大学には、この企業の要求に対する解を開発する技術力が求められている。

(注2) この分野の日本の大学の研究者数は、教授・助教授がせいぜい 50 名程度の規模である。一方、台湾では、元々 200 名程度の規模であった大学の研究者数を、Si - Soft プロジェクトにより、この3年間で少なくとも倍増させる計画である。

5. 終わりに

電子機器の価値の源泉は、システム LSI に集約されつつある。一方、製品寿命の短命化に対して、複雑な LSI を短期間で開発する技術への要求が高まっている。この LSI の開発において、製造技術よりも LSI 設計技術の重要性が相対的に高まり、システム LSI の開発では、LSI 設計がボトルネックになりつつある。

LSI 設計を支援する設計方法論は、これまで大きく発展してきた。設計の記述スタイルだけでも、素子のレイアウト図 (70 年代)、回路図 (80 年代)、テキスト形式の言語 (90 年代) と過去約 10 年毎に、より抽象度の高い上流へ発展してきた。LSI 設計においてもソフトウェア開発の場合と同様に発展してきている。

ところが、第 3 章に示した様にこの上流の設計技術が元々弱い日本の開発力は、新規領域が抽象度の高い記述になるにつれ、ますます低下している。この分野の最高峰の学会である DAC (Design Automation Conference) においても、日本の採択論文シェアは、近年、2%前後に低下している。

DAC に採択される論文は、7割以上が大学からであり、この分野の技術開発における大学の果たす役割は大きい。米国では、大学向けの LSI 試作サービスや産学連携システムが整備された後に、大学からの採択論文数が急伸した。また、半導体製造業で成功を収めた台湾が、国家の主導の下、LSI 設計力を急速に強化しつつある。他の国や地域でも国や産業界が LSI の設計力を強化する動きがあるが、日本だけが例外になりつつある。

日本は、まず、元々少ないこの分野の大学の研究者を増加させる

必要がある。それには、企業や外国からの研究者の採用も短期的には不可欠である。長期的には、この LSI 設計技術の開発に必要な人材を養成する為に日本におけるコンピュータ関連の大学教育を充実させていく必要がある。

LSI 設計の競争力は新たな設計方法論を開発していく力であり、日本は、国として重要な用途、例えばセキュリティに関連する LSI の開発を通して、競争力のある設計方法論も同時に開発していくべきである。

謝 辞

本稿をまとめるにあたり、(株)半導体理工学研究センター (STARC) の小澤時典顧問、(株)ファイ・マイクロテック 赤澤幸雄代表取締役、九州大学大学院システム情報科学研究所 安浦寛人教授のご意見を参考にさせていただきました。また、東京工業大学大学院理工学研究科 松澤昭教授ならびに STARC の小澤顧問には、資料をご提供して頂きました。文末にはなりますが、ここに深甚な感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Hon-Sum Philip Wong, et al. "Nanoscale CMOS" Proceeding of the IEEE, pp.537, Vol.87, No.4 Apr. 1999
- 2) 安部;「デジタル家電の成長戦略」富士通総研経済研究所 研究レポート、No.212、2004 年 11 月：
http://www.fri.fujitsu.com/open_knlg/reports/212.html
- 3) 科学技術政策研究所「研究開発関連政策が及ぼす経済効果の定量的手法に関する調査」(中間報告) 1999 年 6 月
- 4) ITRS 公式サイト：

<http://public.itrs.net/>

- 5) 第 1 回シリコンアナログ RF 研究会 基調講演資料より、2004 年 4 月 5 日開催：
http://masu-www.pi.titech.ac.jp/RF/cfp/20040408/matsuzawa_kichokouen_20040408.pdf
- 6) Mark Rencher, et al. "What's Yield got to do with IC Design?" EETimes：
http://i.cmpnet.com/eedesign/2003/inside_eedesign6.pdf
- 7) 「STARC ニュース No.7」2000 年 8 月 16 日、半導体理工学研究センター：
http://www.starc.or.jp/starc/oldnews/oldpdf/STARCNews_No7.pdf
- 8) 「半導体設計支援 (EDA) 技術に関する特許出願技術動向調査報告」、2003 年 4 月 24 日特許庁：
<http://www.jpo.go.jp/shiryou/pdf/gidou-houkoku/eda.pdf>
- 9) 「システム LSI 技術に関する調査研究報告書」、2004 年 3 月、社団法人 電子情報技術産業協会 編集・発行
- 10) 「STARC シンポジウム 2004 講演予稿集」、2004 年 9 月 9 日、(株)半導体理工学研究センター発行
- 11) 国立交通大学の Website, "The National Si-Soft Project"：
<http://www.cc.nctu.edu.tw/~sect/speech/The%20National%20Si-Soft%20Project.doc>
- 12) 小澤；「半導体技術教育の理想と現実—大学と企業の間にはこれだけのミスマッチがある—」、デザインウェーブマガジン、2000 年 3 月号
- 13) 藤井；「情報処理教育カリキュラムの動向と課題」科学技術動向 2004 年 6 月号：
<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

特集②

消防防災に関する科学技術動向

—安心・安全を目指す科学技術の 特性と方向性の考察—

客員研究官 松原 美之*
環境・エネルギーユニット 浦島 邦子**



1. はじめに

総務省消防庁が毎年とりまとめている「消防白書」には、火災、危険物施設・コンビナート災害、風水害、火山災害、地震災害、ガス・毒物・劇物・原子力に関連した災害まで、実に幅広い災害の現状に関する情報がとりまとめられている。消防白書の統計によれば、火災件数は平成 10 年から増加に転じており、火災死者数については平成 9 年以降 2,000 人を超えているという分析がなされている¹⁾。

平成 15 年版消防白書では、「多発する企業災害とその対応」と題

した緊急報告が組まれている。図表 1 に示されるように、平成 15 年は、全国各地の産業施設で火災・爆発・事故が頻発した年であった。図表 1 には含まれていないが、平成 15 年 4 月 11 日には鹿児島県の花火工場の爆発事故が発生しており、死者 10 名、負傷者 4 名という犠牲者を出していることは記憶に新しい。一方、平成 16 年は台風 23 号をはじめとする多数の台風による被害、新潟県中越地震による土砂崩れを中心とする被害など資源災害が多発した年と

なった。平成 15 年度は産業災害、平成 16 年度は自然災害が多発した。新潟県中越地震での土砂崩れでは、土砂崩れ対応消防活動の安全化が課題となった。そして、この年の自然災害を締めくくるかのように 12 月にはスマトラ沖を震源とする巨大地震による津波が歴史上まれにみる規模の被害をインド洋沿岸一帯にもたらした。

平成 17 年度の科学技術に関する予算、人材等の資源配分の方針²⁾（平成 16 年 5 月 26 日・総合科学技術会議）では、「国家的・社会

図表 1 平成 15 年の主な産業施設の事故事例

	発生日時	死傷者	事故概要等
出光興産(株) 北海道製油所火災	9 月 26 日	無し	平成 15 年十勝沖地震の直後、構内の原油貯蔵タンク（約 3 万 3 千キロリットル）及び付属配管で火災が発生。約 7 時間後に鎮火。
	9 月 28 日	無し	地震発生から約 54 時間後にナフサ貯蔵タンク（約 3 万 3 千キロリットル）で前面火災が発生。約 44 時間後に鎮火。
(株)ブリヂストン 栃木工場火災	9 月 8 日	無し	タイヤ原料のゴム平板を製造するバンバリー工場の精錬ミキサー付近から出火し、当該工場（延面積 40,885m ² ）を全焼、タイヤ約 16 万 5 千本を焼失した。消火活動に約 2 日間を要するとともに、付近住民 1,708 世帯、5,032 名に避難指示が出された。
新日本製鐵(株) 名古屋製鉄所火災	9 月 3 日	負傷者 15 名	事業所内にある約 4 万 m ³ の燃料用ガスのガスホルダー 1 基（高さ約 50m、直径約 35m）が爆発炎上。事業所内の従業員が負傷し、周辺の民家においても、窓ガラスが割れるなどの被害が出た。
エクソンモービル(株) 名古屋油槽所火災	8 月 29 日	死者 6 名 死傷者 1 名	油槽所内のガソリンタンク付近から出火した。タンクは改造工事中であり、貯蔵していたガソリンは既に抜き取られていた。出火当時はタンク下部の廃油をタンクローリーに移す作業をしていた。
三重ごみ固化燃料 (RDF) 発電所爆発火災	8 月 14 日	死者 2 名 負傷者 1 名	8 月 14 日に作業員 4 名が負傷する火災が発生。その後、消防本部が継続的に消火・冷却作業を行っていた。8 月 19 日 14 時 17 分頃、RDF 貯槽が爆発し、屋根の上で消火活動を行っていた消防職員 2 名が屋根ごと吹き飛ばされた。屋根は約 200m 先に吹き飛び、発電所管理棟等の建物も損壊した。
新日本製鐵(株) 八幡製鉄所火災	7 月 11 日	死者 1 名 負傷者 2 名	台車付き溶鋸鍋（150 トン入り）をクレーンで吊り上げ、計量器におろす作業中、溶鋸鍋が横倒しとなったため、工場内に銑鉄が流出し壁面を焼損。

平成 15 年消防白書より抜粋

的課題への新たな取り組みに向けた科学技術の戦略的・総合的な推進」が戦略的重点化の項目として新たにたてられた。そのひとつとして安心・安全な社会を構築するための科学技術の総合的・横断的な推進が、本方針の中に掲げられている。「日本人とユダヤ人」（イザヤ・ベンダサン著）では、「日本人は安全と水がタダだと思っている国民である」とされ、安心で安全であることが当然のことであった日本が、安心・安全な社会の構築を科学技術政策の重点のひとつとしなければならない時代にな

ったことを実感させられる。安心・安全な社会を構築するためには、事故・災害の発生原因を理解し、予防と発災後の対応に関する議論をつくすことが不可欠で、そのための科学技術が必要となる。近年、科学技術の評価の指標として、一般市民の生活に成果が如何に反映されるかという視点が重視される傾向にある。安心・安全な社会を構築するための科学技術は、自然災害の発生機構解明に関わる学術的な研究から、災害時の被害軽減に直結する実学的な研究まで、幅広い研究領域にわたっている。消

防防災の科学技術は、災害被害から国民の生命財産を守る消防が直面する科学技術的課題という、安心・安全な社会を構築するための科学技術の中でも、最も一般市民生活に近い研究領域である。本稿では、このような観点から、安心・安全を目指す科学技術のうち、実践的な部分である消防防災の科学技術を対象として、その現状と近未来の展望を分析し、これらの科学技術の特性を踏まえた推進の方向性について提言する。

2. 消防防災の科学技術の現況

2 - 1

消防防災の予防と対応

昭和23年に消防が警察から分離し、自治体消防として新たな発足をしてからの半世紀の間に消防防災は、消火活動・火災への事後対応から出発し、その後、火災の予防、危険物災害への対応、救急・救助活動への対応、地震など自然災害への対応、原子力災害への対応へと対応領域を拡大してきた。

現在、消防防災において、予防と緊急事態に対応して図表2に示すような取り組みがなされてい

る。潜在的災害危険への予防的対応として、長周期地震動が巨大タンクに与える影響評価、廃棄物施設の火災安全、崖崩れ現場での消防活動安全化などへの取り組みがあげられる。また、災害発生後の行政対応（基準改正など）の事例として、歌舞伎町小規模雑居ビル火災を受けた消防法改正、石油タンク耐スロッシング技術基準、テグ市地下鉄火災を受けた基準改正などあるが、この事例でもわかるように国内外の火災を考慮した取り組みがなされている。

一方、緊急事態対応として、災害発生時の緊急対応には苫小牧石

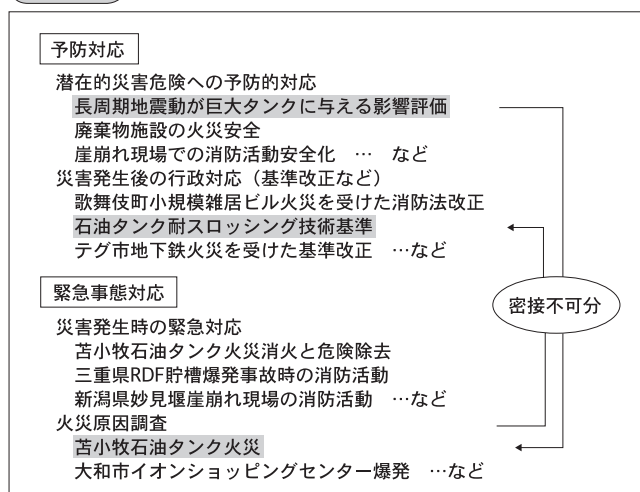
油タンク火災消火と危険除去や三重県 RDF（Refuse Derived Fuel：ごみ固形燃料）貯槽爆発事故時の消防活動、新潟県妙見堰崖崩れ現場の消防活動などがあり、火災原因調査が必要だったものとして、苫小牧石油タンク火災、大和市イオンショッピングセンター爆発などがある。

2 - 2

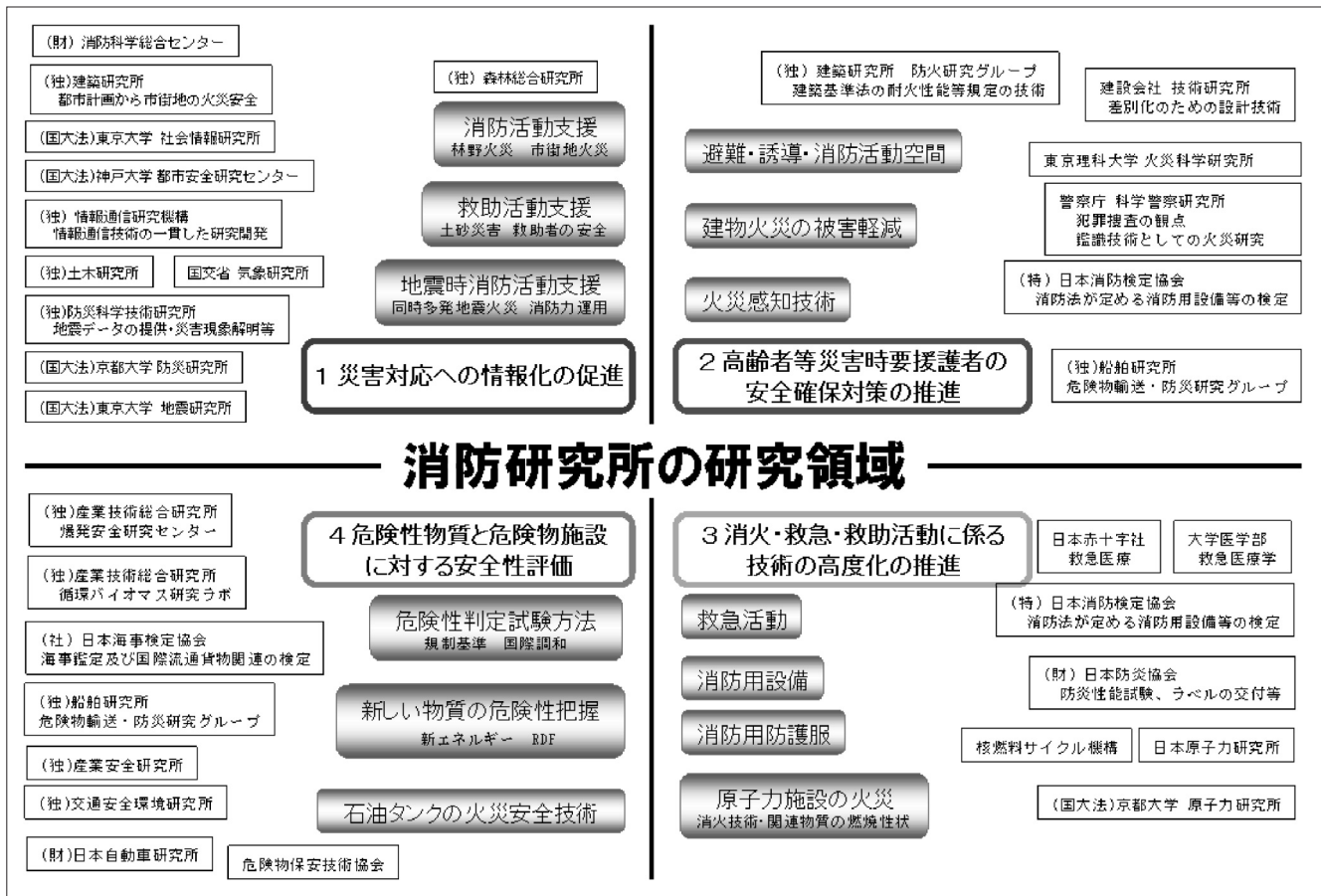
消防防災科学技術高度化戦略プランの概要

消防の対応すべき対象が拡大するにともなって、消防防災と科学技術との関わり方も、①科学技術の発達による新たな災害の登場、②科学技術による消防活動の高度化、の2つの側面で変化して来た。図表3に消防研究所（以下「消防研」という）の研究領域と関連する研究を実施している組織（大学を除く）、図表4には消防研が80年代後半から90年代前半に向けて実施してきた研究が、どのように移行してきたかを示すものである。この図からわかるように、消防研での研究は、その場に対応したテーマが必須であり、またそれ

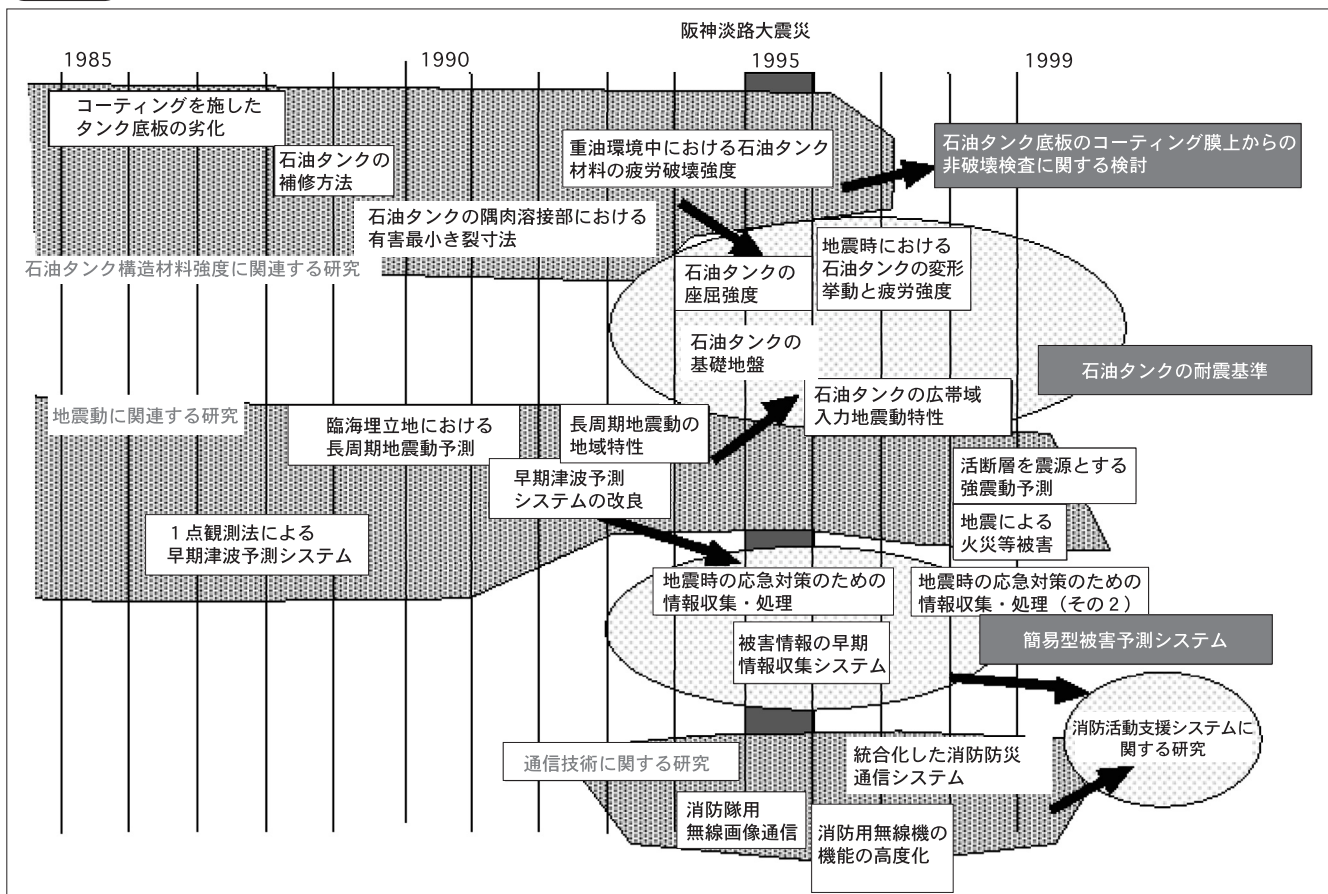
図表2 消防防災と予防の相関図



図表 3 消防研究所の研究領域と他組織との関わり



図表 4 消防研究所の研究領域ごとの研究課題相関図



が消防研の宿命でもある。消防研におけるこのような従来の取り組みも考慮して、平成 13 年 11 月、外部有識者からなる消防防災科学技術懇話会（座長・上原陽一横浜国立大学名誉教授）での審議を踏まえた消防防災科学技術高度化戦略プラン（以下、戦略プラン）が総務省消防庁により策定・公表された³⁾。昭和 23 年自治体消防発足以来、初めてこのような戦略プランが策定された。これは、図表 4 に示すような消防研における研究領域の変遷を背景として、概ね平成 17 年度頃までの到達点をイメージして作成された。平成 7 年に発生した、都市直下型地震である阪神・淡路大地震は、大規模広域災害直後に発生する情報

の空白期間の課題を提起した。平成 11 年に茨城県東海村ウラン燃料加工施設で発生した、臨界事故時に提起された救助作業従事者の被爆問題、平成 12 年の群馬県の化学工場で発生した、ヒドロキシルアミンの爆発事故時に提起された新規物質に潜在する危険性の問題などが戦略プランには反映されている。

消防防災の科学技術は、事前対応、事後対応、さらには、発生原因の分析から未然防止につなげる PDCA サイクル^①を形成していくべきものである。図表 5 に、消防防災の科学技術の安全サイクルを示す。

情報技術、センサー技術、新素材等の新技術は、災害を予防する

用語説明

① PDCA サイクル

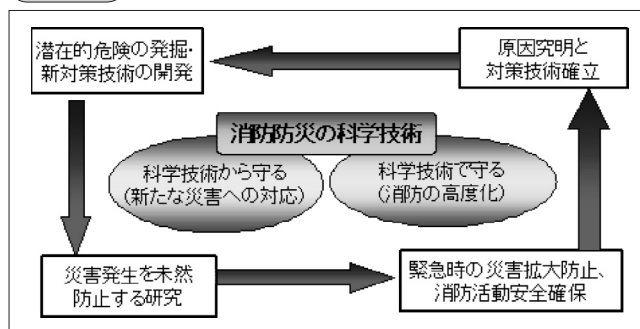
計画 (Plan) を実行 (Do) し、評価 (Check) して改善 (Act) する一連のサイクルをいう。

科学技術、災害に対抗する科学技術として活用が期待される。戦略プランでは、消防防災の科学技術的課題を以下の 9 本の柱に整理している。

- ①防災情報通信システム等の高度化
- ②住宅防火対策等の推進
- ③防災力の向上
- ④消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化
- ⑤特殊災害対策の強化
- ⑥危険物施設等の保安対策の充実
- ⑦救急・救助業務の高度化
- ⑧環境への配慮
- ⑨国際化への対応

これを踏まえて、戦略プランは図表 6 に掲げる 5 領域を、消防防災における研究開発の重点領域として提言している。

図表 5 消防防災の予防と緊急対応の関係



図表 6 消防防災における研究開発の重点領域

(1)災害対応の情報化の促進	災害対応への情報化の促進を図るための、災害の状況把握・分析、災害等の評価予測シミュレーション、災害時の情報伝達、消防等実働部隊の運用のための機器、これらの機器を統合化したシステム等、またはこれらの高度化に係る研究開発。
(2)高齢者等災害時要援護者の安全確保	高齢者、乳幼児、障害者等災害時要援護者の避難等の活動をサポートするための各種防災機器、情報伝達機器、避難機器の開発、またはこれらの機器の評価や技術基準の性能規定化手法の研究開発。
(3)消火・救急・救助活動に係る技術の高度化	消火、救急、救助活動に係る技術の高度化を図るための、消防活動ロボット、大深度地下空間等における消防活動支援システム、救急活動の高度化、消火困難な物質に対する消火方法等の資機材及び消防用設備等の研究開発。
(4)危険性物質と危険物施設に対する安全性評価	危険物施設等の保安の確保を図るための新規物質等に係る危険性の評価、事故防止対策に有効な事故分析手法、危険物災害の発生・拡大予測手法、安全性評価手法等の研究開発。
(5)環境保全の推進	社会的課題である地球環境の保全に資するための環境負荷の少ない消火技術、危険物の漏えい防止と早期発見と対処技術の研究開発。

3. 近未来の安全・安心に関する懸念

3 - 1

高齢化社会に対応する 消防防災

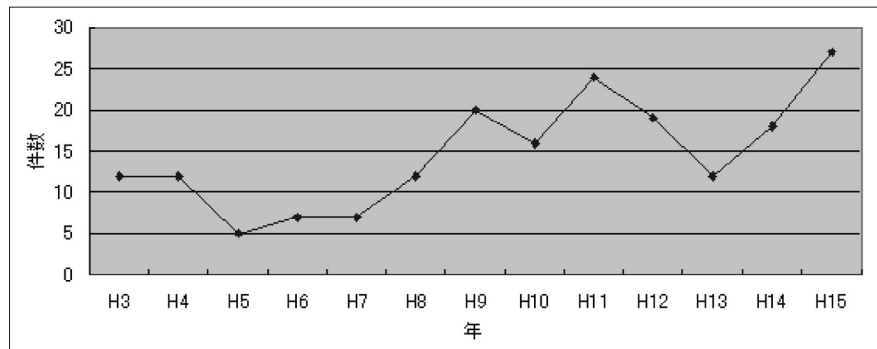
現在、10 万人あたりの住宅火災死者発生割合は、81 歳以上の階層では 21 才から 25 才の階層の 27.4 倍となっている。これから到来する高齢化社会に向けて、高齢者の被害の拡大が懸念される。

3 - 2

環境問題と 安心安全社会の背反

製品などを燃えにくくする難燃剤として、かつて塩素系のものが使用されていたが、有害物質発生の問題から臭素系のものに替わった。しかし、臭素についても環境や健康への影響が懸念されている。また、焼却によって発生するダイオキシン類の原因物質とも指摘されている。このため、臭素系難燃剤のコンピューター製品などへの使用は困難となっているが、このことは家庭内・オフィス内での火災発生危険の増大につながる。また、環境対策として導入さ

図表 7 腐食など劣化による屋外タンク貯蔵所漏洩事故件数の推移



れたごみ固化化燃料 RDF の施設では、全国的に異常が発生する、爆発事故に至るなど安全を脅かす問題が起こっている。

の見直しが必要である。

3 - 4

インフラの老朽化に伴う事故

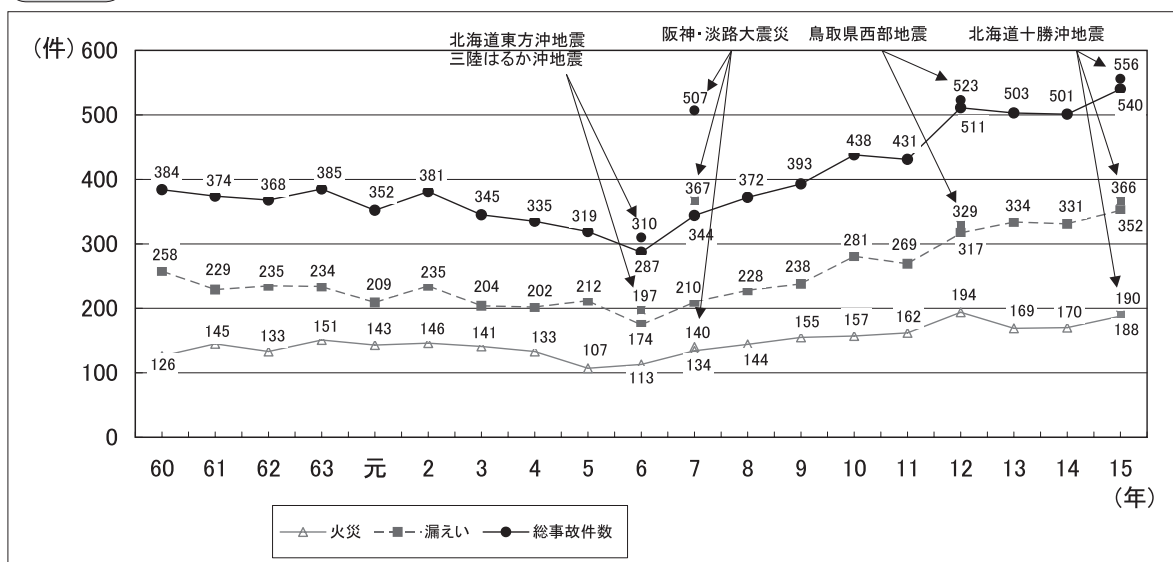
3 - 3

放火など犯罪に伴う 災害・テロ災害

放火及び放火の疑いのある火災は、全火災の 22.9%（平成 14 年 14,553 件）を占め、増加傾向が続いている。平成 13 年 9 月 1 日に死者 44 名を出した新宿歌舞伎町小規模雑居ビル火災も放火と見られている。韓国テグ市地下鉄ではガソリンによる放火であり、従来想定していた地下鉄施設などの火災対策・避難安全対策の想定条件

美浜原発の減肉による蒸気噴出事故に代表されるように、大型施設の経年劣化が危惧されている。特に、危険物施設における火災・漏えい事故については、昭和 50 年代中頃から概ね緩やかな減少傾向が継続していたが、平成 6 年を境に増加傾向に転じている。図表 7 に野外タンク貯蔵所の、また図表 8 には危険物施設における火災・漏えい事故件数の推移を示す。平成 14 年中、火災 170 件、漏えい 331 件合計 501 件あり、腐食劣化が 35.1%と最大の原因である。

図表 8 危険物施設における火災・漏えい事故件数の推移



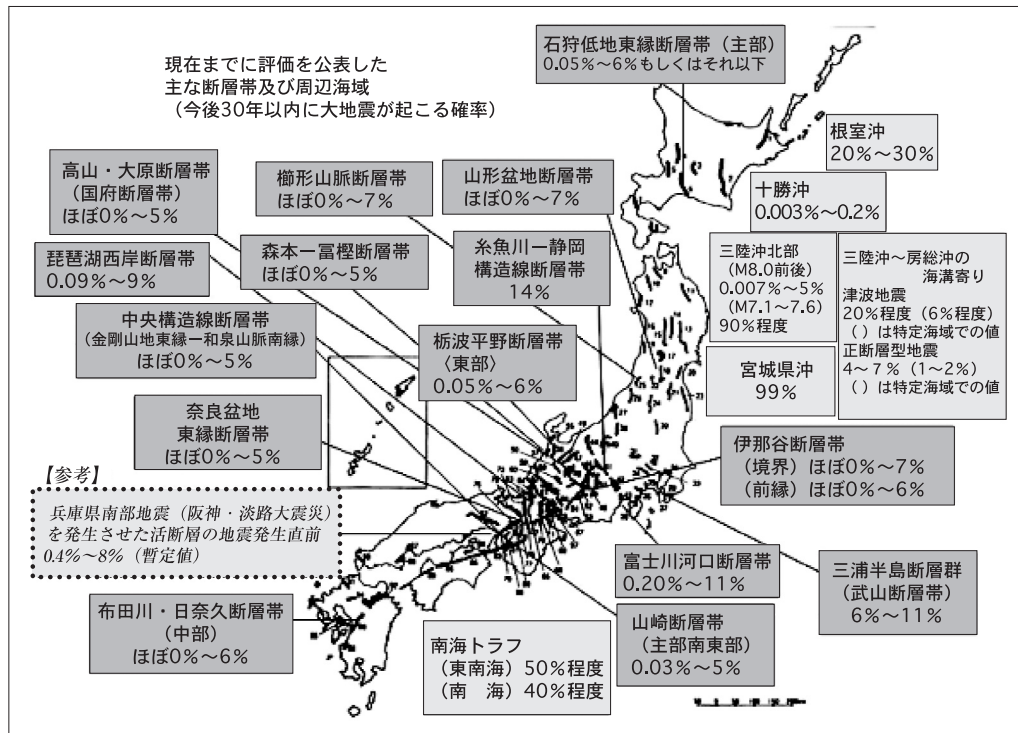
3 - 5

巨大地震など自然災害

2003年9月26日十勝沖で発生した地震はマグニチュード8を観測する巨大地震であった。この地

震により、苫小牧市の石油タンクに火災が発生し、44時間にわたって炎上した。結果としてこの火事は消火できず、燃え尽きて鎮火した。今回の規模の地震は、再来周期が100年から200年と予測されていたが、実際は50年で起こっ

たことから、再来周期の見直しが検討されている。特に、図表9に示す地震が懸念されている地域に存在する石油タンクなどは、早急に予防対策が必要になる。

図表9 日本周辺で発生が懸念されている地震⁴⁾

文部科学省 地震調査研究推進本部 (2004) より

4. 近未来の重点領域の展望

以上の懸念を踏まえて次のような重点研究領域を推進すべきである。

4 - 1

高齢化社会に対応するために

住宅火災による被害を少なくするためには、火災感知器を広く普及させることが大切である。エアコンなど住宅内で常時稼働する電気器具を、火災感知にも使えるようにする応用技術の研究が消防研で進められている。試作機は、エアコンに煙センサーなどを組み込み、発光体や音声で知らせるだけでなく、無線通信によりテレビ画面に割り込んで警報を表示し

たり、電話回線を使って外部に緊急通報する仕組みも採用されている。また、高齢や障害のため警報音の聞き取りが困難な人に対しての開発も進められている。臭気によって知らせる方法もあるが、どのような臭気をどのくらい発すれば火災と認識することができるか、基礎的なデータが必要となる。また、就寝中の災害を想定して布団や枕を振動させたり、フラッシュランプを点滅させるなどの方法も研究対象となる。さらに、火災を自動的に外部に通報するための通信ネットワークシステムの研究も推進しなければならない。これらの技術開発により、減害効果が期待できる⁵⁾。

4 - 2

環境問題に対応した
難燃化&消火技術の革新(1) オゾン層破壊物質の
使用禁止にむけて

オゾン層破壊物質であるハロンの生産禁止に伴い、新しいタイプの消火剤や消火技術が開発されている。これらの消火剤の中には、特定条件では逆に物体の着火を促したり、消火剤がフッ化水素など人体に有毒な燃焼排出物の生成を促進する場合があることなどが報告されている。消火剤を安全に使用するために、着火・消炎現象と燃焼排出物生成過程など、これら

の消火剤の諸作用を高度な数値シミュレーションを通して明らかにしていく必要がある。

ハロンに替わる消火設備の候補のひとつがウォーターミストであり、これは水を利用した消火設備の中で、従来のスプリンクラー設備や水噴霧消火設備よりも、放出される水粒子の分散性に配慮した消火設備を指している。ウォーターミストでは、従来のスプリンクラー設備よりも数分の 1 程度の総放水量で同等の消火能力が期待できるため、火は消えたものの室内が水浸しになり、資産が利用不可能になるといった水損被害を最小限に抑えることができる。ウォーターミストの消火原理はいまだ未確立の部分が多いため、火災をいくつかの段階にわけ、段階ごとにウォーターミスト消火設備が備えるべき最適の条件を確定し、その利用指針を明らかにしなければならない。また、天井等に設置した固定型消火設備の他に、消防隊が使用する消火ノズルへの適用も検討されている⁶⁾。

(2) エネルギー分野に対応する 消火技術の革新

1995 年 12 月、高速増殖炉「もんじゅ」において、二次主冷却系の配管室でナトリウム漏洩・燃焼事故が発生した。この事故以降、ナトリウムの燃焼挙動を詳細に観察し、消火の条件などの研究がすすめられている。ナトリウムは極めて低い酸素濃度にすることで燃えなくなるが、温度条件により再び発火したり、低酸素条件下において特異的な酸化反応を見せることがある。つまり、いったん消えたかに見えるナトリウムも、温度や特定のガスが充満するなどの一定の条件下では再び燃える可能性がある。ナトリウム漏洩火災の消火を確実にを行うためには、残ったナトリウムの安定化や、燃焼残渣の環境温度における発火

機構の解明、さらに不活性ガス系以外の消火剤の探索などが必要になっている。

燃焼という観点からさらに注意が必要な金属にリチウムがある。リチウムを利用したリチウムイオン電池は、エネルギー密度が高く、繰り返し利用できるなどの利点があるため、携帯電話やパソコン、ビデオカメラなどのバッテリーに広く利用されている。リチウムは禁水性であるため、火災時にはガスや粉末の消火剤を利用することが考えられる。希ガスや粉末の消火効果はどの程度あるのか、ナトリウムのような、特異的な燃焼挙動はないのかなど、リチウムの燃焼特性の把握を行うとともに、リチウム火災における消火の研究を進めなければならない。

コストや性能、環境適応などの利点をうたってさまざまな新エネルギーが研究されている。こうした新エネルギーについては、それが普及する条件として、消防・防災の観点からの安全性評価が不可欠である。例えば、現在試験されている燃料電池自動車は、水素を利用するものが一般的であり、駐車場やトンネルにおける安全対策について対応が求められている。これまでのガソリン車と同様な消火方法では、必ずしも消火効果が上がらないばかりかかえって危険性を増すことも十分考えられる。そうしたことから適切な消火技術と予防技術が不可欠である⁷⁾。

(3) 廃棄物処理施設に対応する 消防防災技術の革新

近年は分別収集の取り組みにより、廃棄物処理施設には大量の廃棄物が不燃物として収集されている。プラスチック類も不燃物に分類されているが、なかには大きな発熱量をもつものがある。また電池やスプレー缶・ガスボンベのガスなどそれ自体発火性をもつ物質が不燃ゴミに混入していることも

ある。廃棄物処理施設では、破碎などの工程で起こる衝撃火花や摩擦火花、あるいは化学反応などが着火原因となり、火災が起こる可能性がある。そこで、廃棄物処理施設における廃棄物の現状調査から始まり、そこでの火災の特性に応じた火災予防と消火システムについての研究が必要となる。

4 - 3

社会治安の低下による大規模・複雑建造物の非安全化・脆弱化 に対応する技術の革新

大規模・複雑建造物は、通常想定される着火源、火災性状に対して安全性が確保されるよう設計・建造されている。放火あるいはテロ活動により発生する火災の場合、ガソリンの散布等、通常の火災での想定を上回る火災荷重、火災拡大が発生し、例えば地下施設における避難誘導、消防活動を困難とするなど、大規模・複雑建造物の脆弱性が露呈する。

こうした事態に対応するためには、消防隊や住民が遭遇する環境条件を明らかとする研究を実施するとともに、消防活動や避難が困難となる大規模火災の潜在危険性を洗い出し、消防活動支援や避難支援など被害軽減のための高性能防火服の開発、避難誘導システムの開発につなげていく技術革新をはかる必要がある。

4 - 4

社会インフラの老朽化に備えた 検査技術・保守維持技術の革新

錆びや金属疲労、亀裂など、石油タンクも年月の経過に伴い劣化する。さらに設置場所が海に近く、内容物の出し入れにより繰り返し荷重を受けるなど、過酷な環境にさらされている石油タンクの損傷は、危険物の漏洩、火災や環境汚染という大惨事につながりかねな

い。損傷のほとんどは経年劣化と地震動に起因しており、その腐食環境は複雑で、地震被害も地震動の強さ、地震波形や基礎・地盤、タンク構造や内容物の量などに影響を受ける。したがって安全性評価はタンクの状況に応じて行い、経年劣化および耐震性の評価を同時に考慮することが重要である。AE（アコースティック・エミッション）法により石油タンク底部の健全性を評価するとともに、地震動を予測しコンピュータシミュレーションによって石油タンクの状態を分析するなど、安全性評価手法の確立が必要となる。

4 - 5

巨大地震など自然災害発生に備えるやや長周期地震動影響解明と防災情報システム

地震により、被災している人を救助する救助ロボットの研究も進められている。自立走行型の小さな軽量ロボットが複数組み合わせたり、放射能等を防ぐ防護壁になったり、被災者のまわりに取りついて、運びやすいように姿勢を整え、引っ張り救い出すことをめざして開発がすすめられている。消防研によって開発された小型ロボット

は、1台あたり5kg程度の重量で、無線操作で複数台の隊列を組み移動する。リーダーの小型ロボットは消防隊員に操縦されるが、リーダーロボットの後ろの小型ロボットはリーダーが発する光を感知しながら自動的に進む。そして、小型ロボットは防護壁ロボットと牽引ロボットのグループに分かれ、個々が連結したり役割を分担しながら、それぞれの機能を果たす。また、中高層マンションのペランダを伝い、建物を昇降するロボットの研究なども行っている。今後は、瓦礫の下に埋もれた人間を探知するロボットなども研究のテーマのひとつとなる。

地震による貯蔵タンクの被害は、地震動の特性・タンクの構造・地盤の特性・内容物の物性などが影響し合って起こる複雑な現象である。このためさまざまな解析手法を使用し、複数の地震波形を用いたコンピュータシミュレーションによって、地震動によるタンク底部の浮き上がり挙動に起因する座屈等の損傷メカニズムの解明および小規模タンクの安全性評価システム構築が望まれる。これまでの研究で、地震波が予測できればタンク強度を評価できることが明らかになった。さらに精度の高い

コンピュータシミュレーションを実現し、被害の事前予測による安全性の確保が必要となる。大型構造物である石油タンクは、地震時の長周期地震動と共振して、スロッシング（タンク内の液体が揺れること）を起こす危険性がある。そのため「地震地体構造区分」という考え方に基づいてスロッシング予測の精度を高める研究が進められている。短周期地震動についても、精度の高い短周期地震動の予測手法のために、地盤のボーリングデータなどを使った研究が実施されている^{8,9)}。

そのほかに、例えば、原子炉災害では一度発生したら拡大防止が困難である。スマトラ沖地震大津波では初期に大きな被害が発生し、22万人もの命が失われた。建物火災でも消防が駆けつけるのは5分程度後であることから、爆発事故などの一次被害は軽減できない。巨大災害ほど事後対応ではなく予防的対応が有効で重要である。即ち、安心・安全な生活を国民に保証するためには、発災後対応だけではなく事前予防が不可欠であり、真の緊急事態に対しては「予防」と「事後対応」の両輪で対応すべきである。

5. 提 言

前章までの「消防防災の科学技術」の現状・将来展望等の動向分析を踏まえ、安心・安全な明日の社会を築くための科学技術に関する提言を行う。

5 - 1

アウトプットをアウトカムに

消防防災の科学技術の成果を安心・安全な社会実現につなげるためには、市民が成果を理解し活用できるようにしなければならない。消防防災の科学技術のユーザ

ーは、消防関係者だけではなく、市民全般でもあるからである。事故を未然に防ぐには科学技術による予防は当然ながら、それをきちんと理解し、管理・使用する人間に対する教育も同時に行うべきである。技術に直接結びつく研究に対してはさまざまな予算が配分されるが、予防教育などに関する分野にも同様に予算を配分すべきである。純粋科学研究のように、研究成果が形にはならないかもしれないが、こうした教育も安心・安全社会の構築には必須である。地

震が起こったときなどの被害状況は、場所によってかなり異なることが容易に想像される。よって、バーチャルリアリティのようなシミュレーションを用いて、地域にあった避難訓練を地域市民全員に課すことも、減害の視点から有用である¹⁰⁾。事実、火災が起こった際、実際に消火器を使用できる人の割合はどのくらいだろうか。東京消防庁の火災実態調査（平成12年度）によると、1,921件の火災中、消火器の使用が必要だろうと思われた火災は1,199件だったにもか

かわらず、実際に消火器を使用した例は 624 件しかなかった。消火器があり、それを使う必要がありながら、使えなかった例が半数近くまで達していることから、学校のみならず、職場や地域の住民全員に定期訓練や使用方法の実習が必要である。

5 - 2

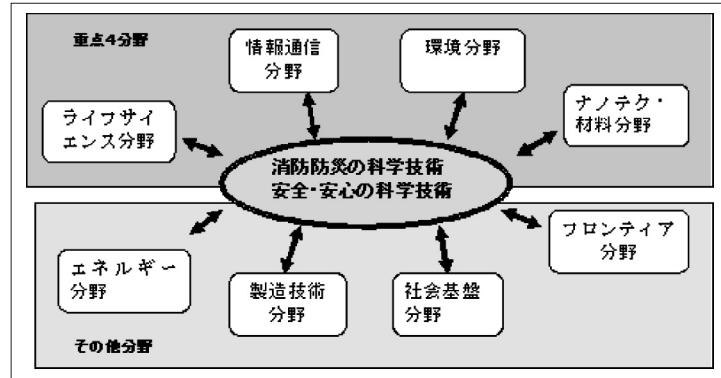
領域横断研究を効果的に

消防防災科学技術において推進すべき研究領域を、第 2 期の科学技術基本計画における「4 重点研究分野」及び「その他 4 分野」と比較して眺めると、消防防災科学技術が分野横断的なものとなっていることが分かる。

例えば、「高齢化社会に対応し火災等災害から安全な社会を築く」ためには「情報通信技術分野の研究成果」、「エネルギー分野の研究成果」、「製造技術分野の研究成果」及び「社会基盤分野の研究成果」の統合と融合が不可欠である。その他の 4 つの消防防災科学技術の重点研究領域も同様に、複数の要素研究分野における研究成果の統合・融合が不可欠なものとなっている。消防防災に関わる科学技術は、いずれもが図表 10 に示されるように第 2 期科学技術基本計画で策定された全ての重点分野にわたった領域横断的研究に位置づけられる。

こうした領域横断的な消防防災の科学技術の研究を担う研究者には、「研究課題を柔軟に変えていく能力」と「起こらなかった異常事象に気づく能力」とが求められている。前者の能力が必要となるのは、消防防災の科学技術が領域横断的であるためである。後者の能力が必要なのは、事故を未然に防止する為の研究課題の発掘では、過去の事例に学ぶことと同程度に、事故発生を防止している潜

図表 10 消防防災科学技術と第 2 期科学技術基本計画における重点分野との関わり



在的要因（事故の被害を食い止めていた要因）に気づくことが重要な為であるからである。

現在、研究者の業績評価がますます幅広く実施され、重要度が増しているが、現在の多くの研究者評価においては、研究領域の変更は発表論文数の一時的低下などを招くなど、必ずしも有利とされない。よって領域横断的な研究者を育成するためには、安心・安全な社会構築への貢献をある程度の期間にわたって積分する等の工夫を取り入れた評価手法の確立が望まれる。

5 - 3

公開性を活かして 成果活用市場の拡大を

消防防災の科学技術は、安心・安全を目指す科学技術のなかで「安全に関する法規制による予防」と「災害発生時の消防対応等」という災害予防と事後対応の両面で、社会還元の方法が明確な実学でもあるという特徴を有している。さらに、同じく安心・安全を目指す「テロ・有事」と「情報セキュリティ」などの研究と「消防防災の科学技術研究」を比較した場合には、後者は研究成果の公開が原則であるという点で大きく異なっている。

これまでにも、公開性を活用し、消防防災の研究は、情報通信研究

機構、防災科学技術研究所、土木研究所、産業安全研究所をはじめとする、多くの国立研究機関（独立行政法人を含む）や大学等がそれぞれの視点で実施している領域の研究と連携し成果を蓄積してきた。将来的にも、ナノテク、情報技術など次期科学技術基本計画で定められるであろう重点研究領域の各分野での研究が、より一層強力に進められることが消防防災の科学技術の進展にも不可欠である。必要なのは、どのような重点研究領域が定められるのではなく、安心・安全の科学技術のように、領域横断的な切り口の研究開発が存在することが理解されることである。

消防の科学技術を遂行し成果が社会に還元される為に課題が無いわけではない。市場規模が小さいが故に、消防等現場からのニーズに沿った機器の開発へのモチベーションが高まらず、災害と闘う為の科学技術に最先端の研究成果が導入されづらいことである。この市場規模が小さいという課題を解決する鍵も、消防防災科学技術の公開性の活用にある。

すなわち、消防防災の科学技術は、予防・対策のいずれについても研究成果の公開が原則であり、産学官連携及び府省連携といった効率的・効果的な研究推進体制に、本質的に馴染むからである。府省連携等の体制で、消防防災の科学

技術の成果を汎用市場で活用可能なものとすることで、研究開発のターゲット市場を拡大することが出来る。

5 - 4

消防防災科学技術に戦略を

消防防災ロボットを例として、消防防災科学技術の戦略について提案する。

日常生活環境での実用ロボットが存在しない現状で、より困難な消防活動空間に投入できるロボットを製作することは不可能と考えがちであるが、遭遇する環境や対応すべき環境を限定することで、これまでの研究開発成果を活用した消防・防災ロボットは十分に開発可能である。むしろ、

- 投入する災害種別を限定し、
- 可能な行動を限定
- 活動時間を限定
- 操縦者など人間による補助を許容する（完全自立型ではなく外部からの遠隔操作）

という条件を付加することにより、消防・防災ロボット導入の実現性が高い状況にあると言える。現在のロボットが抱えている「消防防災活動現場で使用するには動作が遅く」、「耐久性が乏しく」、「動作の信頼性が低い」などの状況にブレークスルーをもたらすための課題は、製造を担う企業及びロボット研究者が消防ロボットの実現に対して十分な魅力を感じ、本気で取り組める体制を如何に構築するかである。

そこで消防ロボットを市場として魅力あるものとする為に、

- 「消防装備の標準化・配備計画の作成等の実用化環境整備（総務省消防庁）」
- 「『事業化・産業化のための初

期市場形成（消防調達）（総務省消防庁・地方自治体）』『産業創出・育成（総務省、経済産業省等）』等の産業創出・育成の府省連携プログラムによるプロセスを付加することが必要である。

これまでに達成されてきた産学官連携によるロボットの研究開発成果をもとに、次のステップを踏んで、一般の消防本部でも導入可能なロボット技術を10年以内に確立し、これをさらに汎用介護ロボットなどの市場につなげるというビジョンと体制を構築することである。

第1期：国の緊急援助隊への導入が可能な活動性能と価格の実現。

第2期：大規模消防本部独自で導入が可能な性能と価格の実現。

第3期：一般消防本部導入が可能な性能と価格の実現。

消防活動の現場で求められる耐環境・性能要件は、軍事技術に比較しても、同等あるいはより過酷なもので、解決すべき科学技術的課題は高度である一方で、費用・効果比はより民生に近い水準が求められる。

消防防災の科学技術の成果の公開は容易である。米国が世界の警察として、軍事技術により科学技術を先導することに対比させるならば、日本は、世界の消防として「防災・減災」科学技術のブレークスルーを先導し、国際社会に貢献することも可能なのではないだろうか。

消防防災の科学技術が効果的に遂行され、成果を社会に還元するためには、こうしたビジョンの作

成と体制の構築が不可欠である。

参考文献

- 1) 消防白書：
<http://www.fdma.go.jp/html/hakusho/h16/h16/index.html>
- 2) 平成17年度の科学技術に関する予算、人材等の資源配分の方針：
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu4/siryo/008/04081901/007/007.pdf
- 3) 消防防災科学技術高度化戦略プラン：
<http://www.fdma.go.jp/html/new/131126yobo410-2.pdf>
- 4) 地震調査研究推進本部：
<http://www.jishin.go.jp/main/>
- 5) 高齢者など災害弱者に火災の発生をどう伝えるか：
http://www.fri.go.jp/cgi-bin/hp/index.cgi?ac1=JRR1&ac2=21&ac3=108&Page=hpd_view
- 6) 研究紹介：
http://www.fri.go.jp/cgi-bin/hp/index.cgi?Page=hpd_view&ac1=JRR1&ac2=21&ac3=112
- 7) 環境対応技術の火災安全を支える：
http://www.fri.go.jp/cgi-bin/hp/index.cgi?ac1=JRR1&ac2=21&ac3=113&Page=hpd_view
- 8) 2004年9月5日記伊半島南東沖の地震による石油タンクのスロッシングと長周期地震動、畑山健他、日本地震学会秋季大会
- 9) 石油タンクにおける危険度予測と危機管理：
http://www.fri.go.jp/cgi-bin/hp/index.cgi?ac1=JRR1&ac2=21&ac3=117&Page=hpd_view
- 10) VR（バーチャルリアリティ）を利用して火災現場を疑似体験：
http://www.fri.go.jp/cgi-bin/hp/index.cgi?ac1=JRR1&ac2=21&ac3=109&Page=hpd_view

.....

SCIENCE & TECHNOLOGY TRENDS

March 2005
(NO.48)

Science & Technology Foresight Center

National Institute of Science and
Technology Policy (NISTEP)
Ministry of Education, Culture, Sports,
Science and Technology

※このレポートについてのご意見、お問い合わせは、下記のメールアドレスまたは電話番号までお願いいたします

なお、科学技術動向のバックナンバーは、下記の URL にアクセスいただき「報告書一覧 科学技術動向・月報」でご覧いただけます。

文部科学省科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター

連絡先：〒 100 - 0005 東京都千代田区丸の内 2 - 5 - 1

電話 03 - 3581 - 0605 FAX 03 - 3503 - 3996

URL <http://www.nistep.go.jp>

Email stfc@nistep.go.jp

- ▶ Life Sciences
- ▶ Information & Communication Technologies
- ▶ Environmental Sciences
- ▶ Nanotechnology & Materials
- ▶ Energy
- ▶ Manufacturing Technology
- ▶ Infrastructure
- ▶ Frontier