

### 3. 「エレクトロニクス」分野の調査結果

#### — 目 次 —

3.1. 注目領域の動向	211
3.1.1. 総論	211
3.1.2. マイクロエレクトロニクス	211
3.1.3. オプトエレクトロニクス	214
3.1.4. 分子・バイオエレクトロニクス	214
3.1.5. センサエレクトロニクス	216
3.1.6. ストレージエレクトロニクス	216
3.1.7. 表示エレクトロニクス	217
3.1.8. 超電導関係	218
3.2. 回答状況および回答者の内訳	220
3.3. 予測課題のフレーム	221
3.4. 我が国の重点科学技術分野	226
3.5. 我が国にとっての重要度	226
3.5.1. 重要度の高い課題	226
3.5.2. フレーム毎(領域別、目的別)の重要度	227
3.6. 期待される効果	228
3.6.1. 全体的な傾向	228
3.6.2. フレーム毎(領域別、目的別)の期待される効果	229
3.7. 実現予測時期	230
3.8. 現在第一線にある国等	232
3.8.1. 全体的な傾向	232
3.8.2. フレーム毎(領域別、目的別)の現在第一線にある国等	233
3.9. 我が国において政府がとるべき有効な手段	234
3.9.1. 全体的な傾向	234
3.9.2. フレーム毎(領域別、目的別)の政府がとるべき有効な手段	235
3.10. 我が国において懸念される問題点	237
3.10.1. 全体的な傾向	237
3.10.2. フレーム毎(領域別、目的別)の懸念される問題点	237
3.11. 第6回調査との比較(前回調査との比較)	238
3.12. 集計結果一覧	240
3.13. 回答者コメント例(課題別)	255
3.14. 未来技術年表	259

### 3. 「エレクトロニクス」分野の調査結果

#### 3.1. 注目領域の動向

##### 3.1.1. 総論

エレクトロニクス技術は、IT 時代を支える基盤技術として、益々その重要性を増している。また、近年その重要性が急速に認識され始めたナノテクノロジーにおいても、究極的なマイクロエレクトロニクスがその一分野を構成することは間違いない。このようにエレクトロニクス関連分野は、益々発展を遂げ、その応用技術も多岐にわたっているが、本調査ではこの分野を以下に示す4つの領域に大別して予測課題を作成した。

- (a) マイクロエレクトロニクス
- (b) オプトエレクトロニクス
- (c) ストレージエレクトロニクス
- (d) 表示エレクトロニクス

以下では、それぞれの分野の専門家がその領域の動向を概観すると共に、注目技術に対する予測結果の特徴についてまとめている。

(石原宏)

##### 3.1.2. マイクロエレクトロニクス

###### (1) 新原理等 (課題01-05関連)

従来の半導体デバイスの微細化トレンドも衰えることなく進んでいるが、いわゆるテクノロジー・ロードマップが示すように、2010年ころには技術の進展の方向がほとんど見えない。しかし、マイクロエレクトロニクスのさらなる開発に対する要求は強い。一方、昨年あたりからナノテクノロジーという言葉が急激に脚光をあびるようになり、各所で議論がなされている。そのナノテクノロジーの一分野としての極限的マイクロエレクトロニクスに関する課題が本領域に含まれている。微細化という観点で行きつくところは、電子一個、原子一個、分子一個を思いのままに操れるだろうかというところになるが、一体それが実用化技術としてもものになるかに関しては多くの議論がある。そこで、まず電子を制御するという観点では、「03 単電子効果を用いたLSI が実用化」、原子一個、分子一個の操作という点から、「01 単原子・単分子操作技術がデバイス作製・遺伝子操作技術として実用化」という点に関して意見をうかがった。エレクトロニクスとして、単一電子デバイスを汎用CMOSの微細化ととらえると否定的な考えもあるし、特殊用途であれば肯定的にとらえることもできる。これらの領域に関しては、第一線にある国として米国と日本が拮抗しているという認識が高いのは特徴である。量子コンピュータに関しては、最近になって研究が活発化してきているが、ある意味で従来型エレクトロニクスの開発に対する閉塞感の裏返しとしての期待感ともいえる。ただし、量子計算と量子通信あるいは量子暗号技術とは少し違うので、とらえ方と期待度の差も大きく、実現予想時期に将来技術の中でも回答に幅がある結果となっていると思われる。また一方で、バイオテクノロジーとエレクトロニクスの境界分野を結びつけようという研究が最近増え始めている。マクロ的にはDNAチップやヘルスケアデバイスといった方向であるが、単細胞あるいはDNA自身の複製機能を積極的に使う、あるいは模倣するという、もう少しバイオ機能そのものを使う可能性を問うているのが、「04 単細胞程度の生命体の外部刺激応答メカニズムを用いたセンサ利用が普及」、「05 DNA塩基のデータ複製・分割・記憶機能を模倣した自己増殖・修復DNAメモリが開発」である。回答者に含まれる専門家の数が少ないことからわかるように、エレクトロニクスの一分野として研究がなされているかという点必ずしもそうとは言えない。DNAメモリに関しては、実現しないと答えられた比率も比較的高い。また、この分野に関しては、米国が第一線にあると考えられている方が圧倒的に多いことも特徴である。いずれの場合にしても、最短で15年以上先の技術として予測されており、国がとる施策の影響が大いに反映される領域とも言える。

(鳥海明)

## (2)高集積化・大容量化、超小型化・大型化

半導体集積回路は、情報化社会の「頭脳と神経回路」ともいうべき役目を担って、これまで微細化によって、その高密度化・高速化をなしとげてきた。デザインルールは15年ごとに1桁小さくなってきた。1970年には10 $\mu$ mだったものが、1985年には1 $\mu$ m、1995年には0.35 $\mu$ mになった。さらには、2000年の時点で0.18 $\mu$ mが実現されており、2011年には0.05 $\mu$ mになるだろうといわれている。さらにその先は、すでに0.03 $\mu$ mの素子が動作していることから、少なくとも物理的限界はないと考えられているが、50nm時代のリソグラフィ技術が量産性を持つかということが危ぶまれている。

従って、「06 最小寸法 10nm の LSI パターンを、量産加工できる技術が実用化」という時期を予測することは、半導体産業にとって非常に重要な点である。

また、高密度化に関しては、DRAMにおいて、3年で4倍という増加を維持してきた。1970年には1Kビット(キロビット)であったものが、1980年には64Kビットとなった。1995年には64Mビット(メガビット)を達成し、2001年には1Gビット(ギガビット)になっている。2011年には64Gビットになるだろうといわれている。このため、「07 256G ビット/1 チップ以上の記憶容量を持つ超 LSI が実用化」という時期は予想通りの時期かということが重要な点である。

また、ウェハサイズであるが、1970年には50mmであったものが、1980年には125mmとなり、1995年には200mmになった。2000年現在、300mmウェハ量産化に向けて開発がすすめられている。これらを考えると、「08 直径 600mm ウェハの使用が普及」という時期はいつかという事が半導体基盤技術として重要な点である。

不揮発性メモリの一種であるフラッシュE<sup>2</sup>PROMは、デジタルカメラの画像保存用メモリとして普及し始め、これ以外にもポータブルオーディオ機器や、携帯電話など軽量、小型のメリットを活かしたモバイル端末用小型記憶媒体として近年急速に普及している。その容量も、1992年4Mビットから始まり、1996年には64Mビット量産体制へと移行している。2000年には製品として、512Mバイトのフラッシュメモリーカードも米国にて発売されている。従って、「10 100G ビット/1 チップ超の不揮発性・書き換え可能のランダム アクセス半導体メモリが実用化」という時期は、その用途を含めて重要な点である。

今回の調査項目では取り上げていなかったが、今後の新しい動向として、高機能化という観点から、SOC (System on Chip)あるいは、SIP (System in Package)の進展の動向に注目する必要がある。さらに、フレーム全体の動向として、個別デバイスとか要素技術にとどまらず、例えば「グローバルネットワーク技術」といったもっとシステムの、アプリケーション側まで包括的に見通す調査項目が必要と考えられる。

(坪内和夫)

## (3)高性能化等

過去30年あまりにわたり、微細加工技術の進展に支えられて、LSIの基本性能が飛躍的な勢いで伸びてきたことは周知の事実である。この間いろいろな限界説が唱えられてはそれに対するブレイクスルー技術が出現し、持続的な発展を実現してきている。

近年のLSI技術の進展は前にも増しており、その勢いは留まるところがないように見え、この発展が今日のパーソナルコンピュータをはじめとするIT技術の基盤を支えている。LSI技術の発展はただ微細加工技術だけでなく、LSIアーキテクチャ、CAD、回路設計、レイアウト、トランジスタ構造、多層配線技術など様々な要素技術の総合的発展に負うところも大である。

本調査においては微細化トレンドの延長で実現される単なる高性能化でなく、質的な転換をもたらすような、いくつかの課題も選択した。

まず、「16 無線通信システム用受動回路に高温超電導材料が普及」、「21 500 $^{\circ}$ Cの高温環境下で使用できる耐高温論理集積回路が実用化」はシリコンやガリウム砒素など現在使われている半導体材料以外の材料を使った技術の動向を問うものである。そのうち、課題16では、専門家は十年程度のうちに限られた用途とはいえ高温超電導材料が普及すると予測しているにもかかわらず、非専門家はかなり先と見ている。課題21は15年先の実用化と予測されており、効果とマイナス面両において環境問題との関わりが、マイクロエレクトロニクス分野の課題中最高のポイントとなっていることは注目すべきである。

「17 実時間で論理機能を変更する 100M ゲート規模の LSI が実用化」、「18 ソフトウェアで仕様変更可能なカードサイズソフトウェア無線機が実用化」、「19 10cm 以下の分解能を持つ GPS などによる自動車の自動運転システムが実用化」はいずれも15年以内に実用化されると予測されており、現在のLSI発展のトレンドが続けばこのようなアプリケーションが開拓されると見られている。しかも、社会・経済発展への寄与と我が国にとっての重要度も高く認識されている。この3課題は他に比較して技術的困難性が特に低いとも考えられないが、このように比較的近い時期の実用化が予測されるのは、ニーズが具体的であり、開発リソースが投入されやすいとの認識があるからではないかと分析する。

「20 ギガビット級の記憶能力を持つニューロン・チップが実用化」はニューロン・チップの実用化についてであるが、前の3課題と対照的であり、専門家でも15年以内での実用化に懐疑的であることがわかる。また、倫理・文化・社会へのマイナスの影響の指摘も多く、実用化の必要性や実用化されたときのインパクトについてのコンセンサスが得られていない様子がうかがえる。

「22 性能 10GOPS、消費電力 10 ミリワット以下のプロセッサ LSI が開発」は、10mW という極端な低消費電力下での超高性能LSIの実現を問うものであり、これまでのLSI発展のトレンド(性能向上とともに電力が増える)に合致しないため、かなり大きなブレークスルーが必要と認識されているようで、開発時期も15年以上先となっている。

「29 高級言語で記述されたシステムレベル要求仕様から数百 K ゲート以上の LSI を完全自動設計する技術が実用化」は、DA (Design Automation) の分野であるが、10年以内の実用化が予測されている。これは、近年のCAD技術の発展の延長線上にこの課題も位置するという認識が一般的であることを意味している。また、我が国にとっての重要度が高いが進んでいるのはアメリカであるという認識は、現状のLSICAD 業界が完全に米国勢に席卷されてしまっていることを反映している。我が国にとって問題点であると考えられる。

「30 LSI 中の 10nm 以下の領域の信号を 1 ピコ秒の時間分解能で検出する装置が実用化」はLSIそのものではなく、その開発ツールに関するものであるが、現状の電子ビームテスタやEOS (Electro Optical Sampling) とは異なる原理の検出装置の発明が必要と考えられるため、比較的遠い実用化時期が予測されている。また、必要度の認識も、専門家も含めてそれほど高くはない点は注目すべきである。

(武谷健)

#### (4) 知能化等

マイクロエレクトロニクス技術の急速な発展を背景に、半導体産業はエレクトロニクス産業の中で益々重要な位置を占めるようになっており、今後IT社会の実現のための中軸技術の一つとして社会のニーズに応える着実な発展が期待される。

マイクロエレクトロニクス技術は、「LSIは産業の米」と言われ工業化社会構築に大きく貢献した時代を経て、今後は我々が生活するあらゆる場面においてパートナーとしての役割を強めていくことが期待される。具体的には以下に示すような社会からの要請に応える技術の創造とタイムリーな実用化が期待される。

社会生活における最も基本的な要請の一つに、「いつでも、どこでも、誰とでも、どんな情報でも、瞬時に、魅力的なコストでやり取りができる環境の整備」があり、この要請に応えるためのネットワーク環境の整備が必要不可欠である。この意味から、世界のどこからでも、音声、データ、画像等多様な情報に対して上記のサービスを可能にする超高速ネットワーク、高機能無線携帯端末の開発実用化が進められよう。新技術の開発実用化に加えて、規制緩和、世界レベルでの標準化の推進が必要不可欠である。(「25 世界中で使用できる 100Mbps 程度のマルチメディア無線携帯端末が普及」)

我々の生活のあらゆる場面で情報処理技術向上の要請が益々強まってくる。データ、画像をはじめ「いつでも、どこでも、誰でも、どんな情報でも、瞬時に、魅力的なコストで処理できるシステム実現」の要請が強い。ユビキタスコンピュータはこのような要請に応える代表的な技術としてその実現が強く期待される。超高集積化、実装等のハードウェア技術とソフトウェア技術を同時並行的に開発実用化するための仕組みの整備が重要である。(「28 いつでも、どこでも、誰とでも情報がやりとりできるワンチップのユビキタスコンピュー

タが開発)

マイクロエレクトロニクス技術の人間社会に対する貢献として強く期待されるものの一つに、「人間とシステムとの間の自然なインタフェースの実現、世界レベルでのコミュニケーションの増進に対する貢献」がある。その代表的なものとして、大画面・高品位ディスプレイの実用化があるが、加えて音声認識・自動翻訳技術をベースにした自動通訳システムのカードサイズでの実現、人間の感情が理解・共有できる人工知能チップの実現等がある。「24 カードサイズの自動通訳システム(音声入・出力)が実用化」、「23 人間の感情を理解・共有できる「人工知能チップ」が開発)

人々のパートナーとしての具体的なシステムとしてはロボットや種々のガイド・システムが現在その代表的なものである。その機能・性能は勿論であるが、コスト、サイズ等実用面でのブラッシュ・アップを可能にする技術の出現が強く期待される。「26 家庭に一台、掃除、洗濯などを行う「お手伝いロボット」が普及」、「27 バッテリーレスで非接触型のスマート IC カードや RF-ID TAG が普及)

(森野明彦)

### 3.1.3. オプトエレクトロニクス

オプトエレクトロニクス分野において最も社会的なインパクトを与えた技術は、半導体レーザーと光ファイバによる光ファイバ通信の実用化と言えよう。近年、インターネットが地球規模で拡大を続けており、光ファイバ通信はこれを支える基盤技術として発展している。基幹伝送の分野では毎秒テラビットという大容量の光伝送システムが商用化されるまでに至っている。これは波長がわずかに異なる10ギガビット毎秒の高速光信号を波長多重化するものであり、半導体レーザー・光変調器を中心とする光源技術、光ファイバ技術、光ファイバ増幅技術、異波長信号分離用の光回路技術、高速電子回路技術など、オプトエレクトロニクス分野の多岐にわたる技術的貢献によるものである。さらなる大容量化を目指して、40ギガビット毎秒以上の高速化や波長多重数の拡大を目的とした利用波長領域の拡大に向けた研究開発が進められている。

光ファイバ通信の新しい技術革新は、光クロスコネクタである。伝送経路の設定を、短時間に可能にするもので、伝送容量を需要に応じて設定し、ユーザにきめ細かいサービスを行うことができる。光クロスコネクタに用いられる光スイッチ(～1024×1024)は、MEMS(Micro Electro-Mechanical Systems)やバブル方式で実用化されつつあるが、単位スイッチデバイスの大規模化・低コスト化に向けて、新しい方式が模索されつつある。

光ファイバ通信は、地球規模の広域通信から、都市内やビル内の光ネットワーク、コンピュータ内の光インターコネクタに適用されており、さらに家庭などの身近な所や情報機器内、半導体チップ内の光リンクと言った領域まで活用される方向である。大量に使用されることを前提として、面発光レーザーアレイなど温度制御を不要とするような低コスト高速レーザーの開発が進められている。

情報記録の分野では光ディスクの記録再生用に半導体レーザーの開発が活発である。記録媒体への書きこみを目的とした高出力赤色レーザー、種々のメディアに対応するための2波長集積レーザーが既に実用化されている。青色レーザーは非線形光学結晶を用いる方式やGaN結晶を用いる方式で実現されている。現在、赤色レーザーが、DVD(Digital Versatile Disc)の量産的商品(3 Gb/in<sup>2</sup>)へ適用されているが、近い将来、高密度化(18 Gb/in<sup>2</sup>)に応用されよう。

ナノ材料やフォトニック結晶など人工光機能材料の研究が着実に進歩を遂げてきた。現状は実用化には至っていないが、将来展開の基礎技術として大いに期待される。

また、技術の新規性や高性能化だけでなく、低コスト化、環境に配慮した省資源、リサイクル、低消費電力化といった技術開発、世界標準となるシステムコンセプトの提案、と言ったユーザの視点に立った研究開発が強く求められる。

(中村道治)

### 3.1.4. 分子・バイオエレクトロニクス

分子・バイオエレクトロニクスは1980年代から今日まで継続的に提案され研究されてきた分野である。提案の根本的な拠り所は近い将来に訪れる半導体加工(リソグラフィ)の寸法的限界を克服できる可能性

の一つとして追求する必要があると言う点である。この分野の研究の特徴は、従来の加工の超微細化のトップダウン的アプローチに対し、原子・分子からデバイスを構築するボトムアップ的手法として研究が進んでいる点である。ここでの、最も重要なキーワードは自己組織化、即ち、加工に頼らず、ナノ構造を材料の性質を最大限に利用して構築することである。典型的な例としては、GaAs 上の InAs の量子ドットの形成や各種基板上への自己組織化単分子膜形成等が挙げられる。注目されている人工材料としては、安定な  $\pi$  共役系オリゴマ、フラーレン、カーボンナノチューブあるいは各種金属のナノクリスタル、ナノワイヤ、ナノチューブ等がある。これらの構造物は自然に形成されるもので無理な加工の必要性がない。将来の超微細加工技術の直面する問題点として、寸法限界の他に経済性が挙げられている。この過度に高度な技術による製造技術の経済性への圧迫も、自己組織化プロセスをうまくトップダウン的手法と組み合わせることにより克服出来るのではないかと期待されている。バイオ素子の主要な対象はDNA、蛋白、ニューロンである。

この原子・分子からのアプローチに対して、重要な役割を果たしているもう一つの技術的側面を指摘する必要がある。それは 1980 年代に発明された走査トンネル顕微鏡 (STM) と原子間力顕微鏡 (AFM) から派生した走査プローブ顕微鏡 (SPM) である。今日、これら SPM 関連技術は単一原子・分子の観察技術としてだけでなく、原子・分子の操作技術としても飛躍的な発展を遂げている。また SPM の欠点である走査法固有の単位面積当たりの加工速度の遅い点も、多数のプローブを同時にしかも独立に作動させることにより次第に克服されつつある。実用化に一步近づいた例として、SPM の超高密度記録への応用を挙げることができる。

これらの分子・バイオエレクトロニクスに関連したナノテクノロジー研究が今日急速に進んでいるもう一つの重要な要因として、米国クリントン前大統領により開始された米国での「国家ナノテクノロジー戦略 (National Nanotechnology Initiative: NNI)」を無視することは出来ない。NNIはここで取り上げている分子・バイオエレクトロニクスよりもさらに広範囲の研究領域を含んでいる。しかし、分子・バイオエレクトロニクスも重要な中心課題の一つとなっている。とりわけ、ヒトゲノム解析後のポストゲノム、ITの基盤技術として、我が国においても、産業競争力養成を視野においた今後のこの分野の戦略的研究推進は益々重要になって来るであろう。脳・神経系バイオエレクトロニクスも今後の発展が期待される重要な研究分野である。

この様な時代背景から、分子・バイオ・センサエレクトロニクス領域としてセンサエレクトロニクスを含む形で、3分野に関連のある課題46から60までが選定されている。従って、分子、バイオ、またはセンサエレクトロニクス単独の固有な課題というよりも、むしろこれらが複合したエレクトロニクスの技術課題が多くなっている。分子エレクトロニクス固有の課題は47のみで、関連ある課題はむしろマイクロエレクトロニクスの「01 単原子・単分子操作技術がデバイス作製・遺伝子操作技術として実用化」、「02 超高速計算やセキュリティ機能に応用できる量子位相デバイスが実用化」、「03 単電子効果を用いた LSI が実用化」、「05 DNA 塩基のデータ複製・分割・記憶機能を模倣した自己増殖・修復 DNA メモリが開発」、「06 最小寸法 10nm の LSI パターンを、量産加工できる技術が実用化」、「07 256Gビット/1チップ以上の記憶容量を持つ超 LSI が実用化」、「15 10nm 以下の分解能をもつ X 線顕微鏡が開発」、「23 人間の感情を理解・共有できる「人工知能チップ」が開発」、「30 LSI 中の 10nm 以下の領域の信号を 1ピコ秒の時間分解能で検出する装置が実用化」、オプトエレクトロニクスの「34 固体有機材料による、例えばレーザや光スイッチなどのデバイスが実用化」、ストレージエレクトロニクスの「61 1 原子/1 分子が 1 ビットに対応するストレージシステムが開発」、「62 1 テラビット/1 平方インチの記録が可能な磁気記憶ハードディスクが開発」、「63 1 テラビット/1 平方インチの光メモリが実用化」、「64 走査型プローブ顕微鏡の原理による 1 テラビット/1 平方インチ以上のメモリが実用化」の課題として取り上げられている。バイオエレクトロニクスについてもほぼ同様で、固有な課題は「46 脳神経系の結線メカニズムを利用した学習機能をもつ人工ニューラルネットワークが開発」、「54 脳神経の興奮状態を分解能 1mm、リアルタイム観測する無侵襲性の CT 的装置が開発」のみで、バイオセンサ関連の「53 DNA 等の分子 1 個を同定できるバイオセンサが実用化」、「57 抗体を利用したバイオセンサが実用化」、「58 人体埋込型装置による病状の診断・治療が実用化」、「59 皮膚等を介さず、人間の神経に直接的に刺激を与えられる感覚代行センサが実用化」、マイクロマシン関連の医用デバイス「48 血液中の ATP などをエネルギー源とする医療用マイクロマシンが開発」、「50 マイクロマシン技術を用いた体内検査マイクロロボットが実用化」、「51 血栓治療等のための遠隔操作可能な超小型医用デバイス

が実用化」、「60 マイクロマシンを遠隔操作することによる手術が実現」に比べ遥かに少ない。バイオエレクトロニクス固有な課題も分子エレクトロニクス同様マイクロエレクトロニクスの「01 単原子・単分子操作技術がデバイス作製・遺伝子操作技術として実用化」、「05 DNA 塩基のデータ複製・分割・記憶機能を模倣した自己増殖・修復 DNA メモリが開発」、「20 ギガビット級の記憶能力を持つニューロン・チップが実用化」で取り上げられている。一方、バイオセンサの興味ある技術課題もマイクロエレクトロニクスの「04 単細胞程度の生命体の外部刺激応答メカニズムを用いたセンサー利用が普及」で取り上げられている。分子・バイオ・センサエレクトロニクス領域全般の調査結果に対する概要は注目領域の動向のセンサエレクトロニクス(保立委員)に詳しくまとめられている。

(藤平正道)

### 3.1.5. センサエレクトロニクス

センシング技術は、各種産業領域、基礎科学研究、医療、防災、防犯、環境、安全工学等、広範な技術領域において重要であり、その原理も、フォトニクス、超電導、半導体、量子効果等、多岐にわたっている。その結果、ひとつひとつのセンサあるいはセンシング技術は、その生産量を考えると必ずしも多くはなく、産業規模も比較的小さい。特に、技術集約的で高価なセンシング技術は、少量生産品であることが多い。このような特徴を有する本技術領域全体から課題をバランス良く抽出することは容易ではない。今回の調査では、前回と同様に、分子・バイオ・センサエレクトロニクス領域の一部としてセンサエレクトロニクス関連の課題を選定しており、従って、分子、バイオ、生体関連のセンシング技術課題が比較的多くなっている。ただし、マイクロエレクトロニクス、オプトエレクトロニクス領域においても、センサエレクトロニクス関連の課題を幾つか選定した。

今回の調査結果を概観すると、まずエレクトロニクス分野の4つの領域中で、大きな差はないものの、分子・バイオ・センサエレクトロニクス領域の重要度指数が最も低い。また、センサエレクトロニクス関連の課題が大部分を占める目的項目である「高感度化・高分解能化」の重要度指数も全11項目中で下から2番目と低く評価されている。これらは、上述したセンサエレクトロニクス領域の性質上、経済的効果が相対的に大きくはないと見なされるためであろう。実際に、期待される効果についての評価を見ると、他の領域では「社会・経済発展への寄与」が最も大きいのに対して、分子・バイオ・センサエレクトロニクス領域は、「生活者ニーズへの対応」がトップとなっている。目的項目「高感度化・高分解能化」に関して見てみても、「生活者ニーズへの対応」と「人類の知的資源の拡大」への期待が相対的に大きい結果が出ている。このような傾向が顕著な課題として、たとえば、「53 DNA 等の分子 1 個を同定できるバイオセンサが実用化」や「54 脳神経の興奮状態を分解能 1mm、リアルタイム観測する無侵襲性の CT 的装置が開発」があげられよう。

センサエレクトロニクスが広範な技術領域において不可欠であることに、議論の余地はない。さらに、医療、環境、防災・防犯等、必ずしも経済効果だけでは論じられない分野においてもまた重要である。この点は、前述のように、本領域への期待が「社会・経済発展への寄与」よりも「生活者ニーズへの対応」により高く寄せられていることにも対応している。これら応用分野では技術集約的で高度なセンシング技術も期待される。また、最近よく聞かれる「安全・安心」のための技術としても、センサエレクトロニクスが鍵を握っている。「安全・安心」のための技術開拓は、成熟した社会建設のために重要であるのみならず、地震国である我が国の実情を考えると特にその必要性が高いと言えよう。そのような技術課題の一例が、「56 構造物の歪みや加重分布を多点で計測する光ファイバ多重化センシング技術が普及」である。一方で、現在第一線にある国等に関する調査項目に関しては、分子・バイオ・センサエレクトロニクス分野では「アメリカ」優位との評価が相対的に大きい。これらを総合して考えるに、センサエレクトロニクスは、我が国としてその技術開拓に今後さらに注力すべき技術領域であると言えよう。

(保立和夫)

### 3.1.6. ストレージエレクトロニクス

現在、ストレージとして使われているものには、主に磁気ディスク、光ディスクメモリー、リムーバブル・メモリーがある。それぞれの動向は、次のようになっている。

磁気ディスクについては、近年、面記録密度の増加が飛躍的に高まっている。1991年頃まで年率30%程度であったが1998年頃までには年率60%、現在では100%以上の伸び率を示している。磁気ディスク記録方式には、長手記録方式、垂直記録方式の2タイプがあり、最近、両方式とも60Gビット/インチ<sup>2</sup>程度の面記録密度が実現されている。現在では長手記録方式が採用されているが、将来的には、熱揺らぎに対して耐性をもった垂直記録方式に移行する可能性があり、理論上は1Tビット/インチ<sup>2</sup>に達すると予測されている。

光ディスク・メモリは、CD-ROM、CD-R/RW、DVDが実用化され普及しているが、さらなる大容量化のため、DVD次世代光ディスクの研究が進んでいる。厚さ0.1mm.程度と薄い透明なカバー層を介してデータを記録・再生する方法、厚さ0.3~0.4mm.のディスク基板を利用する方法、ディスク基板の厚さを現行DVDと同じ0.6mmとしそれぞれ張り合わせをする方法、以上の3タイプが提案・検討されている。実際に完成の段階にある薄膜カバー方式が、高密度化等の観点で有望視されている。面記録密度は20Gバイト/インチ<sup>2</sup>以上となる。ニア・フィールド記録や超解像度再生などを利用することで、2010年頃までには、100Gバイト/インチ<sup>2</sup>以上の面記録密度が実現すると予測されている。

リムーバブル・メモリとしては、フロッピーディスクから、フラッシュメモリ技術を用いたメモリーカードに続き、ポータブルの機器への応用がすでに始まっている。強誘電体メモリ(FeRAM)技術を使ったメモリーカードも実用化に向けて検討されている。しかし、強誘電体メモリがDRAM並のセル面積を実現するには、強誘電体キャパシタの小型化、3次元化が必須である。小型化は、垂直エッチング技術の導入によるキャパシタの垂直加工、トランジスタ、キャパシタを一つずつ組み合わせた1T1C方式やトランジスタとキャパシタを上下に積み重ねるスタック型の採用、などにより解決し、3次元化は強誘電体膜の薄膜化によって対応するという試みがなされており、数年以内に実用化される。磁化の向きを利用してデータを記録するMRAMは、2004年には、256Mビットメモリーが製品化できると予測されている。TMR素子とMOSFETとを合わせて構成される方法とTMR素子のみで構成される方法とがあり、セル面積縮小、製造コストのためにはTMR素子のみだけでメモリーセルを構成していくことになるであろう。相変化膜の比抵抗がアモルファス状態と結晶状態とで異なることを利用した相変化メモリなども実用化される。

今後期待されるメモリとして、走査トンネル顕微鏡、原子間力顕微鏡に代表されるような走査型プローブ顕微鏡の原理を利用した超高密度記録メモリが研究されている。極微細探針を用いて、探針と試料間に印加する電圧、これに伴う電子注入、熱、微小力等の作用を原子オーダーあるいはナノメートルオーダーの領域で行う記録方式である。実現されれば、100Gビット~1Tビット/インチ<sup>2</sup>級の面記録密度を達成できる。

その他に、DNA・RNAといった機能を有した、分子レベルにおける高密度な記憶が可能な素子が開発されるという予測もあるが、現段階では技術的に問題があるとされている。ホログラフィーを使用した光メモリーの実用化も期待される。実用化へのキーポイントは、高感度で信頼性が高く、かつ安価な記録材料の開発にある。通常のフォトリソグラフィ材料を記録媒体として用いる限り、再生劣化は避けられない。そこで、熱定着や電場定着、あるいは2光子吸収媒体の研究、フォトポリマを記録媒体として利用する方式が検討されてきた。現在は、2光子吸収媒体とフォトポリマを用いたホログラムディスクに関するものが注目されている。さらに2光子吸収の原理を利用して、ビットデータを多層に記録する3次元記録高密度光メモリーも研究が進んでいる。

(高須秀視)

### 3.1.7. 表示エレクトロニクス

IT時代、マルチメディア時代の到来で、マン・マシン・インターフェースの中心となる表示デバイスは、内容、質、量とも多岐にわたり飛躍的に発展している。2000年のディスプレイ市場は、約6兆円の規模で、その65%~70%はあいかわらずCRTである。CRTでは、奥行きを浅くするために、偏向角を従来の107度から120度にするなどの改良がはかられている。

ここ数年の間のノートパソコン、ビデオカメラ、カーナビゲーション、携帯電話などの急速な普及、あるいは、デスクトップパソコンのモニターも場所を取らない液晶ディスプレイに置き換わりつつあることから、フル

カラー表示の液晶ディスプレイ(TFT-LCD)が急激に増え、2001年には2兆円、2005年には、5兆円の規模に達すると予想されている。TFT-LCDは一段と大画面化、高精細化が進み、最近では、22型(3840×2400画素)の市販も予定されているなど、20インチ型以上、100ppi(ピクセル/インチ)以上の精細度のものが製品化されるようになった。携帯機器用6.4型TFT-LCDでは、202ppiと通常印刷レベルの精細度を達成している。高品位印刷並の600dpiの実現には一層に微細加工技術の開発が必要であるが、着実に進歩している(「65 600dpi以上の表示が可能なA3版以上のフラットパネルディスプレイが実用化」)。

一方、40インチ型以上の大型、超大型ではPDP(プラズマディスプレイパネル)が本格的に商品化されている。さらに大型表示では、低温多結晶Si LCD、高温多結晶Si LCDを使用する投影型ディスプレイの高性能化、小型化、低価格化が進み、プレゼンテーションツールとしてOHPを駆逐しつつある。

最近の注目は、有機ELパネルの進歩である。試作レベルでは、液晶パネルよりも輝度やコントラスト比が高く、応答性も良く動画表示に対応できるものができている。自発光なので、色も鮮やかで、視角度依存性もない。携帯電話や、携帯端末を想定した10インチ型未満のパネルの試作が多いが、20-30インチ型のCRTやLCD置き換えを狙う動きもある。将来的には、さらに大型のディスプレイあるいは、高精細、軽量な特徴を生かしてめがね型ディスプレイに発展することが予想される(「67 有機材料による発光型で、壁一面を占めるほどの超大型ディスプレイが実用化」、「68 ロール型(丸めることができる)ディスプレイが実用化」、「69 いつでもどこでも映画を楽しめる、メガネの中にはいる超小型ファイル装置が実用化」)。

設問は設けていないが、FED(電界放射型ディスプレイ)も急速に進歩しており、6型カラーFEDパネルが試作されている。冷陰極には、従来ダイヤモンドあるいはDLC(ダイヤモンドライクカーボン)が使用されていたが、カーボンナノチューブの研究開発が進み、これを使用する試みがある。高精細ディスプレイの有力な候補である。

立体動画表示はやや足踏み状態である。有機ELの進歩で超軽量なめがね型ディスプレイの実現性が高いことから、むしろめがね型で実用される可能性のほうが大きいかも知れない(「66 眼鏡を必要とせず視聴者の自然な姿勢の変化に追従する立体動画表示装置が開発」、「69 いつでもどこでも映画を楽しめる、メガネの中にはいる超小型ファイル装置が実用化」)。

紙のように柔軟で読みやすく、揮発性で、一度表示させてしまえばあとは電力を必要としない書き換え可能な表示として、電子ペーパーと呼ばれるディスプレイの開発も活発化している。2枚の導電性プラスチック板間の液体中に、半側面ずつ黒と白に塗った微細な数百万個の荷電ボールを浮かべて、電界で回転させて色を変化させる形式、染料液中の白色微粒子を電界で移動させて色の変化を起こるものなどがある。すでに、1.8m×1.2mの超大型ディスプレイのデモンストレーションなどが行われている。新聞、雑誌のように扱えるディスプレイの実現は近そうだ(「68 ロール型(丸めることができる)ディスプレイが実用化」)。

(石川元)

### 3.1.8. 超電導関係

超電導現象は、マクロな量子効果であり、この特性を使うことにより、半導体などの他の電子デバイスでは実現できないユニークなエレクトロニクス分野の応用が期待されている。超電導エレクトロニクスの研究開発は、1962年のジョセフソン効果の発見にその源流を求めることができる。現在までに、1970年代に行われたIBMのジョセフソン・コンピュータの開発と中止あるいは1986年の高温超電導体の発見などのエポックがあったが、これらの大きな節目毎にその技術は進展してきた。しかし、大きな期待に対して、なかなか応用製品の市場が拡大しないというジレンマも抱えている。

超電導エレクトロニクスの応用分野は、大きく分けて、SQUID(Superconducting Quantum Interference Device: 量子干渉デバイス)に代表される高感度センシング技術、マイクロ波領域における低損失アナログ・コンポーネント、超高速、低消費電力を特徴とするデジタル応用がある。

SQUIDは、fT(フェムト・テスラ)レベルの微弱な磁場を検出できる磁気センサ-として働き、脳や心臓などが活動するときに発生する磁場を検出する脳磁、心磁計測システムは、すでに実用化され医療分野に使われ始めている。また、高温超電導体をベースにしたSQUIDの開発が行われ、システムの小型化、軽量

化が進み、医療以外の応用分野が拡大している。たとえば、集積回路チップやパッケージの配線不良を、配線に電流が流れることによって生じる磁場を検出し、マッピングするシステムが開発されている(「55 非接触で LSI 配線の電流測定が可能な磁気センサが実用化」)。検出した磁場をサンプリングすることにより、数 10GHz 以上の高速信号を検出することに成功している。この開発速度からすると、予測された実用化時期の 2014 年はかなり前倒しする必要があるようである。

低損失アナログ・コンポーネントは、超電導体がミリ波帯に及ぶ高周波信号に対して通常の金属よりも低い表面抵抗を持つことを利用するものである。現在開発が注目されているのは、携帯電話基地局のフロントエンドに使われる、フィルターの超電導化である。超電導フィルターは挿入損失が低く、またシャープな通過帯域特性を実現できるために、基地局の高感度化、他局との選択性の向上が図れる。すでに、小型の冷凍機を内蔵したフィルターのサブシステムは開発段階を終わり、フィールドテストが行われる段階になっている。したがって、「16 無線通信システム用受動回路に高温超電導材料が普及」は目の前に来ているとも言える。普及させるための課題は冷凍機の信頼性とコストに絞られてきた。

デジタル応用については、現在、SFQ (Single Flux Quantum: 単一磁束量子) を情報担体とする超高速、極低消費電力デジタルシステムの開発に焦点が当てられている。この方式は、Tbps に及ぶ極めて高いスループットで情報処理を行うことに特徴があり、この特徴を生かせる、広帯域、高精度 A/D コンバータ、ハイエンド・ルーター、ハイエンドサーバーなどの応用が考えられている。「14 数百 GHz 以上のクロック周波数で動作する超電導 LSI が実用化」は、決して夢ではない。これを実現するためには、超電導 LSI 技術の開発が必要である。「09 100 万接合以上を集積した高温超電導 LSI が開発」は、現在接合集積度は数十のレベルであり、LSI 化に向けて開発が進められているが、高温超電導材料の複雑性のために界面の制御にこずっているのが現状である。特に集積された接合のバラツキを押さえることが開発の焦点になっている。しかし、高温超電導 LSI が開発されなくても、金属 (Nb) 系接合集積技術は十分使える段階にあるので、当面はこの集積技術を使って行くことになるであろう。

超電導エレクトロニクスは、まだ新しい応用分野の開拓を行う必要がある、このユニークな技術分野を少しでも市場に近づけることが今後の大きな課題である。

(早川尚夫)

### 3.2. 回答状況および回答者の内訳

「エレクトロニクス」分野の回収率は以下のような結果になった。R2の全分野の回収率は82%であり、本分野の回収率は、これを若干下回る結果となっている。回収人数で見た場合、16分野中8番目という結果であった。

表 3.2-1 「エレクトロニクス」分野のアンケート回収状況

回収状況					
R1発送	R1回収	R1回収率	R2発送	R2回収	R2回収率
318 人	273 人	86%	273 人	216 人	79%

R2回答者内訳については以下のようになっている。回答者の属性を見ると、全体の女性回答者の割合は3%であるが、本分野はそれを下回る0.9%となっている。年代では40代が最も多く47%を占める。職業別に見ると会社員の比率が高く、7割以上を占め、全体の比率より41%程度高い。職種は全体の傾向と比べると、研究開発従事者が多く、9割以上となっている。

表 3.2-2 「エレクトロニクス」分野のアンケート回答者の内訳

性別	男	214 人	職業	会社員	156 人	専門度の平均	大	12.4 %	
		女		2 人			大学関係	48 人	
	無記入	なし		公務員	5 人		小	60.5 %	
年代	20 代	なし		団体職員	5 人				
	30 代	27 人		その他	1 人				
	40 代	101 人		無記入	1 人				
	50 代	77 人	職種	研究開発従事	203 人				
	60 代	10 人			上記以外	12 人			
	70 代以上	なし			無記入	1 人			
	無記入	1 人			合計	216 人			

(注)・専門度の平均:各課題の専門度に関する3つの選択肢(大、中、小)の回答割合の合計を課題数で割った値を示す。

### 3.3. 予測課題のフレーム

予測課題を検討するにあたって、その前提として、各分野の技術の体系をあらわすフレームの検討を行った。ここでいうフレームとは、横軸に領域、縦軸に目的をとったマトリックスであらわすものである。現時点での技術の将来性や重要度の観点から分野全体の技術のイメージを固めることをねらいとするとともに、予測課題の見直しのための作業フレームとしてもこれを利用する。

## 予測課題のフレーム「エレクトロニクス」分野

領域 目的	マイクロエレクトロニクス	オプトエレクトロニクス
新原理・新現象・新デバイスの探求	01 単原子・単分子を操作する技術がデバイス作製や遺伝子操作の技術として実用化される。 02 量子コンピューティング等による、超高速計算やセキュリティ機能に応用できる量子位相デバイスが実用化される。 03 単電子効果を用いた LSI が実用化される。 04 単細胞程度の生命体の外からの刺激に対する反応などのメカニズムが解明され、センサーとしての利用が普及する。 05 DNA の 4 種類の塩基の組み合わせによるデータの複製・分割・記憶システムを模倣した、自己増殖・修復機能をもつ DNA メモリが開発される。	31 紫外半導体レーザーが実用化される。 32 外部安定化回路無しで波長の温度依存度 $10^{-7}/\text{deg}$ (水晶振動子程度)の半導体レーザーが実用化される。 33 自然放出の制御等による、しきい値電流が動作電流の $10^{-4}$ 以下の半導体レーザーが開発される。 34 固体有機材料による、例えばレーザーや光スイッチなどのデバイスが実用化される。
高集積化・大容量化	06 10nm の最小寸法を持つ LSI パターンを、量産加工できる技術が実用化される。 07 1 チップ当たり 256G ビット以上の記憶容量を持つ超 LSI が実用化される。 08 直径 600mm のウェハの使用が普及する。 09 100 万接合以上を集積した高温超電導 LSI が開発される。	35 光集積回路を併用した POPS(PetaOperationsPerSecond)級のマイクロプロセッサが開発される。
超小型化・大型化	10 不揮発性で書き換え可能な 100G ビット以上のランダムアクセス半導体メモリが実用化される。	
高速化	11 クロック周波数 50GHz 以上の LSI が実用化される。 12 DC～1000GHz 程度の広帯域固体増幅器が実用化される。 13 TOPS(TeraOperationsPerSecond)級のマイクロプロセッサが実用化される。 14 数百 GHz 以上のクロック周波数で動作する超電導 LSI が実用化される。	36 10Gbps の光加入者系システムが家庭に普及する。
超並列化		37 100Gbps の信号 1000 チャンネルを多重化して 1 本の光ファイバで伝送できる光多重通信装置が実用化される。 38 例えば光インターコネクションなどに利用される、1000×1000 程度の面発光レーザーアレイが実用化される。 39 チップ間光インターコネクション技術が実用化される。
高感度化・高分解能化	15 10nm 以下の分解能をもつ X 線顕微鏡が開発される。	
高性能化・高機能化・システムの集積化・知能集積	16 無線通信システム用受動回路に高温超電導材料が普及する。 17 実時間で論理機能を変更する 100M ゲート規模の LSI が実用化される。 18 ソフトウェアでセンター周波数、バンド巾、変調方式、誤り訂正方式などの仕様変更可能なカードサイズのソフトウェア無線機が実用化される。 19 10cm 以下の分解能を持つ GPS などによる自動車の自動運転システムが実用化される。 20 ギガビット級の記憶能力を持ったニューロン・チップが実用化される。	40 光通信、光交換の分野において、信号光の波長を異なる波長に直接変換する技術が実用化される。 41 波長数十 Å の領域で発振する軟 X 線レーザーが実用化される。 42 フォトニッククリスタルによるナノ配線を用いた高集積 CMOSLSI が開発される。

分子・バイオ・センサエレクトロニクス	ストレージ・表示エレクトロニクス
<p>46 脳神経系の結線メカニズムが明らかになり、学習機能をもつ人工ニューラルネットワークが開発される。</p> <p>47 分子1個をスイッチングの基本素子とする論理、記憶用LSIが開発される。</p> <p>48 血液中のATPなどをエネルギー源とする医療用マイクロマシンが開発される。</p> <p>49 1THz～10THzの未利用電磁波帯を利用したフォトニックセンシング技術が<u>実用化される</u>。</p>	<p>61 1原子/1分子が1ビットに対応するストレージシステムが<u>開発される</u>。</p>
<p>50 センサ/コントローラ/アクチュエータをマイクロマシン技術を用いて集積化した体内検査マイクロロボットなどが<u>実用化される</u>。</p>	<p>62 1平方インチ当たり1テラビットの記録が可能な磁気記憶ハードディスクが<u>開発される</u>。</p>
<p>51 血栓治療等のための遠隔操作可能な超小型医用デバイスが<u>実用化される</u>。</p>	<p>63 1平方インチ当たり1テラビット以上の光メモリが<u>実用化される</u>。</p> <p>64 走査型プローブ顕微鏡の原理を用いた1平方インチ当たり1テラビット以上のメモリが<u>実用化される</u>。</p>
<p>52 人間なみの感度をもつ触覚センサが<u>実用化される</u>。</p> <p>53 DNA等の分子1個を同定できるバイオセンサが<u>実用化される</u>。</p> <p>54 脳神経の興奮状態が1mm程度の分解能でリアルタイムにわかる無侵襲性のCT的装置が開発される。</p> <p>55 非接触でLSI配線の電流測定が可能な磁気センサが<u>実用化される</u>。</p>	<p>65 高品位印刷なみの表示(600dpi以上)が可能なA3版以上のフラットパネルディスプレイが<u>実用化される</u>。</p>
<p>56 ビル、橋、高速道路等のヘルスマonitoringのために、歪みや加重分布を多点で計測する光ファイバ多重化センシング技術が普及する。</p> <p>57 抗体を利用したバイオセンサが<u>実用化される</u>。</p> <p>58 人体埋込型装置による病状の診断・治療が<u>実用化される</u>。</p>	<p>66 めがねを用いなくても見ることができ、かつ、視聴者が姿勢を変えるなどの自然な動きをしても立体像が變形しない立体動画表示装置が開発される。</p>

領域 目的	マイクロエレクトロニクス	オプトエレクトロニクス
高効率化・ 高出力化・ 低消費電力化	21 500℃の高温環境下で使用できる耐高温論理集積回路が <u>実用化</u> される。 22 性能 10GOPS (GigaOperationsPerSecond) 程度でかつ消費電力 10 ミリワット以下のプロセッサ LSI が <u>開発</u> される。	43 ほとんどの室内照明用に半導体光源が <u>普及</u> する。
大規模化・ 広域化		44 光による人工衛星間通信を利用した長距離基幹通信が <u>実用化</u> される。 45 大陸間海底ケーブルなど長距離ファイバ通信に光ソリトン伝送が <u>実用化</u> される。
知能化・ 柔軟化・ 使いやすさ・ ヒューマンインタフェース・ 携帯性	23 人間の感情を理解・共有できる「人工知能チップ」が <u>開発</u> される。 24 カードサイズの自動通訳システム(音声入・出力)が <u>実用化</u> される。 25 世界中で使用できる 100Mbps 程度の <u>マルチメディア無線</u> 携帯端末が普及する。 26 家庭に一台、掃除、洗濯などを行う「お手伝いロボット」が普及する。 27 盲人に対するナビゲーション、医療用カード、物流用 TAG 等に使用するバッテリーレスで非接触型のスマート IC カードや RF-ID(RadioFrequencyIdentification)TAG が普及する。 28 いつでも、どこでも、誰とでも情報がやりとりできる、 <u>ワンチップのユビキタス(Ubiquitous)コンピュータ</u> が <u>開発</u> される。	
高生産性・ 高信頼性・ 低コスト化・ 設計／検証の 合理化	29 C 言語のような高級言語で記述されたシステムレベルの要求仕様を与えると、数百 K ゲート以上の高性能な LSI を完全に自動で設計する技術が <u>実用化</u> される。 30 LSI 中の 10nm 以下の領域の信号を 1 ピコ秒の時間分解能で検出する装置が <u>実用化</u> される。	

分子・バイオ・センサエレクトロニクス	ストレージ・表示エレクトロニクス
	67 有機材料を用いた、発光型で、例えば壁一面を占めるほどの超大型ディスプレイが <u>実用化される</u> 。
<p>59 皮膚等を介さず、人間の神経に直接的に刺激を与えることのできる感覚代行センサが<u>実用化される</u>。</p> <p>60 各種センサ、マニピュレータなどを備えたマイクロマシンを遠隔操作することによる手術が<u>実現する</u>。</p>	<p>68 ロール型(丸めることができる)ディスプレイが<u>実用化される</u>。</p> <p>69 いつでもどこでも映画を楽しめるような、メガネの中にはいる超小型ファイル装置が<u>実用化される</u>。</p>

### 3.4. 我が国の重点科学技術分野

エレクトロニクス分野の回答者に対して、日本の将来を考える場合、どの科学技術分野に重点を置く必要があるかを問い、下表のような回答を得た。

表3.4-1 「エレクトロニクス」分野の回答者が考える将来の重点科学技術分野

今後5～10年に優先して研究開発を 実施すべき分野	情報系技術	185人 (85.6%)	2010年頃に研究開発の優先度が高い	情報系技術	102人 (47.2%)
	生命系技術	156人 (72.2%)		生命系技術	191人 (88.4%)
	地球・環境系技術	139人 (64.4%)		地球・環境系技術	184人 (85.2%)
	材料系技術	71人 (32.9%)		材料系技術	69人 (31.9%)
	製造・マネジメント系技術	26人 (12.0%)		製造・マネジメント系技術	2人 (0.9%)
	社会基盤系技術	26人 (12.0%)		社会基盤系技術	52人 (24.1%)
	無記入	12人 (5.6%)		無記入	14人 (6.5%)

### 3.5. 我が国にとっての重要度

#### 3.5.1. 重要度の高い課題

回答者(専門度「なし」の回答者は除く)の我が国にとっての重要度の回答結果は以下のとおりである。

エレクトロニクス分野全体では重要度指数は66.2となっている。我が国にとっての重要度の評価が特に高かった課題(重要度指数の値が高い上位20位までの課題)は、次表に示すとおりである。最も重要度が高く評価されたのはナノスケールのLSIパターンを量産加工するという課題であるが、そのほかに、マイクロエレクトロニクス、オプトエレクトロニクス関連の課題が比較的上位を占めている。

表 3.5-1 重要度指数上位20課題

課題	重要度指数	実現予測時期(年)
06 10nmの最小寸法を持つLSIパターンを、 <u>量産加工</u> できる技術が <u>実用化</u> される。	91	2015
25 世界中で使用できる100Mbps程度の <u>マルチメディア無線携帯端末</u> が <u>普及</u> する。	90	2013
10 不揮発性で書き換え可能な100Gビット以上のランダムアクセス半導体メモリが <u>実用化</u> される。	88	2016
22 性能10GOPS(Giga Operations Per Second)程度でかつ消費電力10ミリワット以下のプロセッサLSIが <u>開発</u> される。	86	2018
13 TOPS(Tera Operations Per Second)級のマイクロプロセッサが <u>実用化</u> される。	86	2019
36 10Gbpsの光加入者系システムが家庭に <u>普及</u> する。	86	2014
29 C言語のような高級言語で記述されたシステムレベルの要求仕様を与えると、数百Kゲート以上の高性能なLSIを完全に自動で設計する技術が <u>実用化</u> される。	85	2011
07 1チップ当たり <u>256Gビット以上</u> の記憶容量を持つ超LSIが <u>実用化</u> される。	85	2015
18 ソフトウェアでセンター周波数、バンド巾、変調方式、誤り訂正方式などの仕様変更可能なカードサイズのソフトウェア無線機が <u>実用化</u> される。	85	2012
11 クロック周波数50GHz以上のLSIが <u>実用化</u> される。	84	2015
37 <u>100Gbps</u> の信号 <u>1000チャンネル</u> を多重化して1本の光ファイバで伝送できる光多重通信装置が <u>実用化</u> される。	84	2016
01 単原子・単分子を操作する技術がデバイス作製や遺伝子操作の技術として <u>実用化</u> される。	83	2015

課 題	重要度指数	実現予測時期(年)
17 実時間で論理機能を変更する 100M ゲート規模の LSI が実用化される。	81	2014
24 カードサイズの自動通訳システム(音声入・出力)が実用化される。	81	2015
62 1 平方インチ当たり 1 テラビットの記録が可能な磁気記憶ハードディスクが開発される。	79	2015
28 いつでも、どこでも、誰とでも情報がやりとりできる、 <u>ワンチップのユビキタス(Ubiquitous)コンピュータが開発される。</u>	79	2014
63 1 平方インチ当たり 1 テラビット以上の光メモリが実用化される。	77	2018
65 高品位印刷なみの表示(600dpi 以上)が可能な A3 版以上のフラットパネルディスプレイが実用化される。	77	2013
27 盲人に対するナビゲーション、医療用カード、物流用 TAG 等に使用するバッテリーレスで非接触型のスマート IC カードや RF-ID(Radio Frequency Identification) TAG が普及する。	75	2011
19 10cm 以下の分解能を持つ GPS などによる自動車の自動運転システムが実用化される。	74	2014

### 3.5.2. フレーム毎(領域別、目的別)の重要度

領域別で見た場合、重要度指数は「マイクロエレクトロニクス」が最も高く、最も低い「分子・バイオ・センサエレクトロニクス」との差は8.3ポイントであった。

目的別で見ると「超小型化・大型化」、「超並列化」、「高速化」等で重要度指数が70を超えている。一方、「大規模化・広域化」では60を割っていた。

図 3.5-1 領域別重要度指数

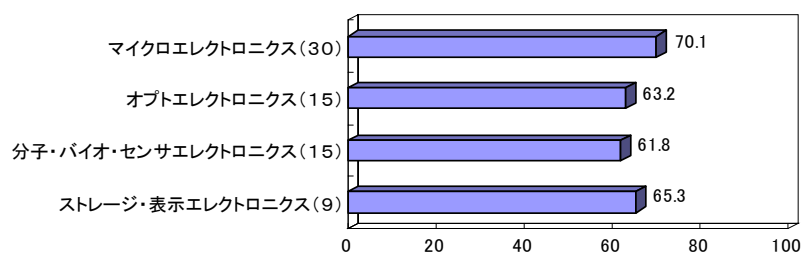
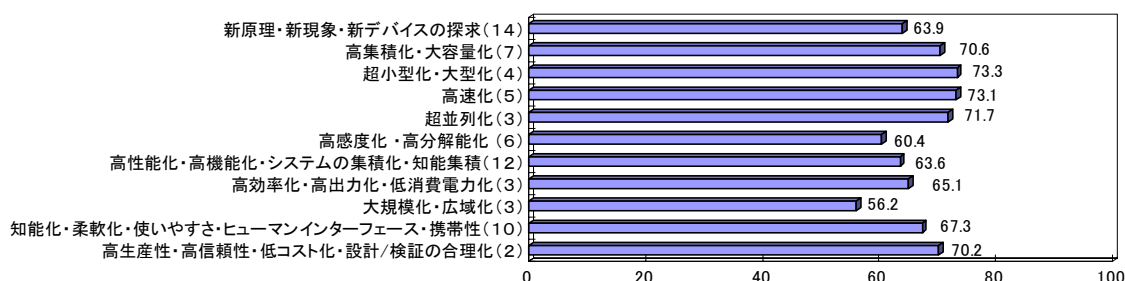


図 3.5-2 目的別重要度指数



(注)・重要度指数 = (重要度「大」回答者数 × 100 + 重要度「中」回答者数 × 50 + 重要度「小」回答者数 × 25 + 重要度「なし」回答者数 × 0) ÷ 重要度総回答者数

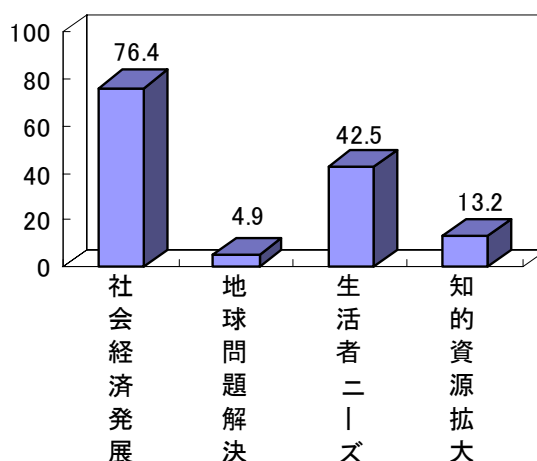
・カッコの中の数字は該当する課題数。

### 3.6. 期待される効果

#### 3.6.1. 全体的な傾向

当該課題が実現することにより、期待される効果として「社会・経済発展への寄与」、「地球的規模の諸問題の解決」、「生活者ニーズへの対応」、「人類の知的資源の拡大」の4つの選択肢をあげ、複数回答方式で回答を求めた。回答(複数回答)結果は次に示すとおりである。

図 3.6-1 期待される効果(%)



全体では、「社会・経済発展への寄与」への期待が最も大きくなっている。「生活者ニーズへの対応」は2番手であるが、回答者の半数の期待を得るには至らなかった。

各効果の回答の比率が高い課題(回答の比率が51%以上で上位10位までの課題)を下表に示す。

表 3.6-1 期待される効果の回答の比率の高い課題

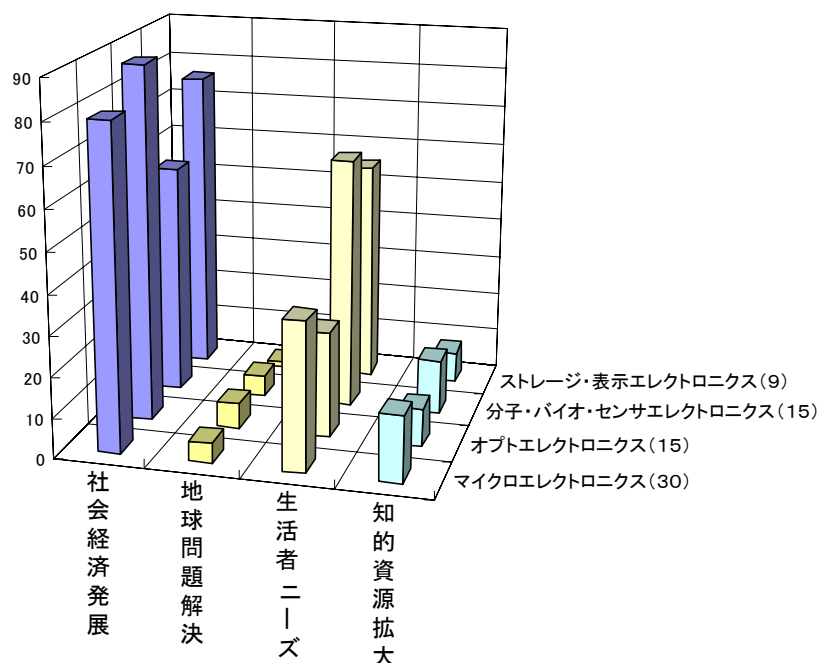
区分	課題	比率(%)	実現予測時期(年)
社会・経済発展への寄与	45 大陸間海底ケーブルなど長距離ファイバ通信に光ソリトン伝送が実用化される。	96	2015
	06 10nm の最小寸法を持つ LSI パターンを、量産加工できる技術が実用化される。	95	2015
	29 C 言語のような高級言語で記述されたシステムレベルの要求仕様を与えると、数百 K ゲート以上の高性能な LSI を完全に自動で設計する技術が実用化される。	94	2011
	22 性能 10GOPS(Giga Operations Per Second)程度でかつ消費電力 10 ミリワット以下のプロセッサ LSI が開発される。	94	2018
	55 非接触で LSI 配線の電流測定が可能な磁気センサが実用化される。	93	2014
	10 不揮発性で書き換え可能な 100G ビット以上のランダム アクセス半導体メモリが実用化される。	93	2016
	37 100Gbps の信号 1000 チャンネルを多重化して 1 本の光ファイバで伝送できる光多重通信装置が実用化される。	93	2016
	39 チップ間光インターコネクション技術が実用化される。	93	2013
	40 光通信、光交換の分野において、信号光の波長を異なる波長に直接変換する技術が実用化される。	93	2014
	17 実時間で論理機能を変更する 100M ゲート規模の LSI が実用化される。	92	2014

区分	課題	比率(%)	実現予測時期(年)
生活者ニーズへの対応	51 血栓治療等のための遠隔操作可能な超小型医用デバイスが実用化される。	96	2017
	59 皮膚等を介さず、人間の神経に直接的に刺激を与えることのできる感覚代行センサが実用化される。	94	2019
	60 各種センサ、マニピュレータなどを備えたマイクロマシンを遠隔操作することによる手術が実現する。	92	2017
	27 盲人に対するナビゲーション、医療用カード、物流用 TAG 等に使用するバッテリーレスで非接触型のスマート IC カードや RF-ID(Radio Frequency Identification) TAG が普及する。	91	2011
	58 人体埋込型装置による病状の診断・治療が実用化される。	89	2016
	26 家庭に一台、掃除、洗濯などを行う「お手伝いロボット」が普及する。	89	2018
	24 カードサイズの自動通訳システム(音声入・出力)が実用化される。	87	2015
	52 人間なみの感度をもつ触覚センサが実用化される。	84	2017
	48 血液中の ATP などをエネルギー源とする医療用マイクロマシンが開発される。	83	2022
	50 センサ/コントローラ/アクチュエータをマイクロマシン技術を用いて集積化した体内検査マイクロロボットなどが実用化される。	81	2020
資源の拡大	15 10nm 以下の分解能をもつ X 線顕微鏡が開発される。	65	2016
	46 脳神経系の結線メカニズムが明らかになり、学習機能をもつ人工ニューラルネットワークが開発される。	53	2020

### 3.6.2. フレーム毎(領域別、目的別)の期待される効果

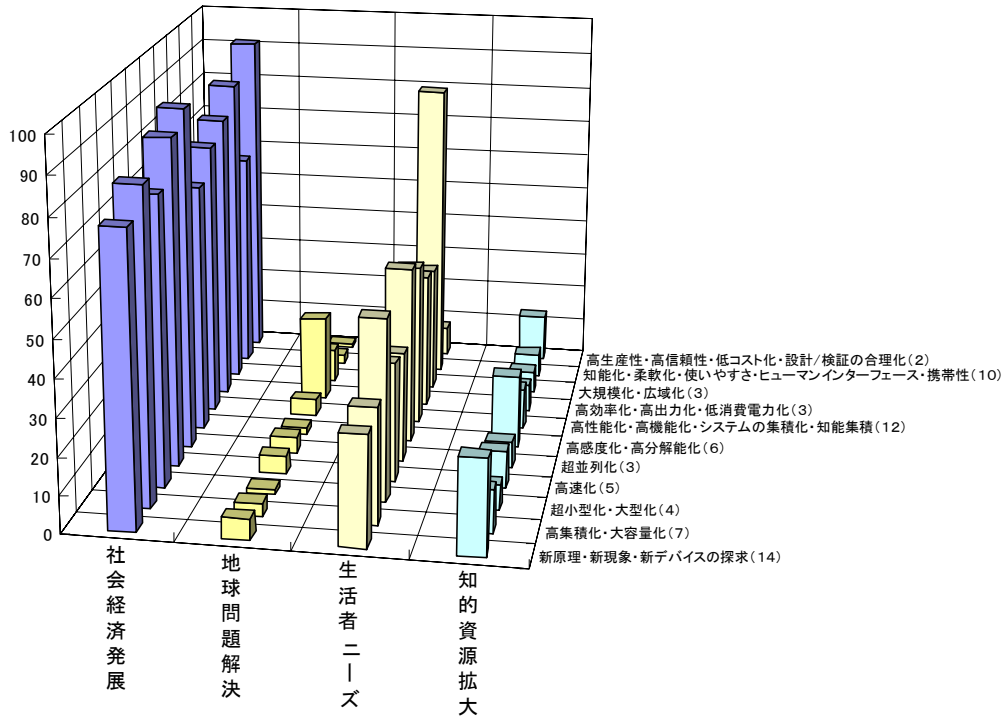
領域別にみると、すべての領域で「社会・経済発展への寄与」への期待が大きいことがわかる。「分子・バイオ・センサエレクトロニクス」、「ストレージ・表示エレクトロニクス」領域では、「生活者ニーズへの対応」の効果 expecting している回答者が過半数を占めている。「分子・バイオ・センサエレクトロニクス」領域では「社会・経済発展への寄与」(57.7%)よりも「生活者ニーズへの対応」(62.7%)への期待が高かった。

図 3.6-2 領域別期待される効果(%)



目的別でみた場合、すべての目的において、「社会・経済発展への寄与」への期待が大きい。また、「知能化・柔軟化・使いやすさ・ヒューマンインターフェース・携帯性」では、「生活者ニーズへの対応」(82.6%)が際立って高くなっている。

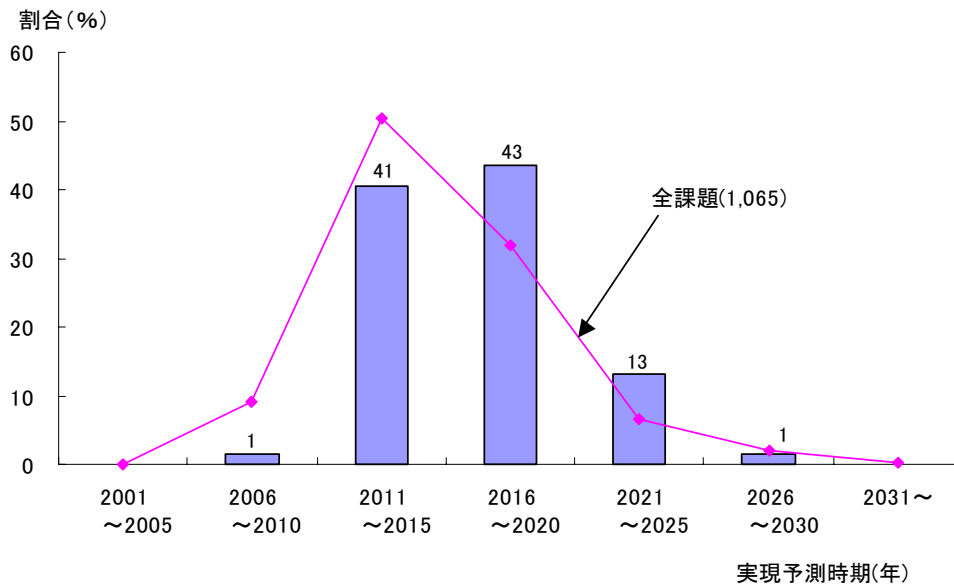
図 3.6-3 目的別期待される効果(%)



### 3.7. 実現予測時期

実現予測時期の分布は、下図のとおりである。

図 3.7-1 実現予測時期



全課題の実現予測時期の分布とエレクトロニクス分野の実現予測時期の分布を比較すると、エレクトロニクス分野では2016年から2020年の間に実現が予測される課題が多くなっている。そして約8割の課題が2011年から2020年の間に位置していることがわかる。

一方、領域別課題数と目的別課題数はそれぞれ次の表のとおりである。

表 3.7-1 領域別課題の実現予測時期

領域	01-05	06-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-
マイクロエレクトロニクス(30)	0	0	13	12	4	1	0
オプトエレクトロニクス(15)	0	1	8	5	1	0	0
分子・バイオ・センサエレクトロニクス(15)	0	0	3	10	2	0	0
ストレージ・表示エレクトロニクス(9)	0	0	4	3	2	0	0

表 3.7-2 目的別課題の実現予測時期

目的	01-05	06-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-
新原理・新現象・新デバイスの探求(14)	0	1	4	5	4	0	0
高集積化・大容量化(7)	0	0	3	2	2	0	0
超小型化・大型化(4)	0	0	0	3	1	0	0
高速化(5)	0	0	2	2	1	0	0
超並列化(3)	0	0	2	1	0	0	0
高感度化・高分解能化(6)	0	0	2	4	0	0	0
高性能化・高機能化・システムの集積化・知能集積(12)	0	0	7	4	1	0	0
高効率化・高出力化・低消費電力化(3)	0	0	0	3	0	0	0
大規模化・広域化(3)	0	0	1	2	0	0	0
知能化・柔軟化・使いやすさ・ヒューマンインターフェース・携帯性(10)	0	0	5	4	0	1	0
高生産性・高信頼性・低コスト化・設計/検証の合理化(2)	0	0	2	0	0	0	0

領域別にみると、最も多くの課題の実現が予測されているのは、「マイクロエレクトロニクス」、「オプトエレクトロニクス」、「ストレージ・表示エレクトロニクス」で2011～2015年の間、「分子・バイオ・センサエレクトロニクス」では2016～2020年の区間であった。

目的別にみると、実現が少し遅くなると考えられているのは「新原理・新現象・新デバイスの探求」、「超小型化・大型化」、「高感度化・高分解能化」、「高効率化・高出力化・低消費電力化」、「大規模化・広域化」であった。

さらにここでは、実現時期のほかに「実現しない」、「わからない」という選択肢も設けている。それぞれの回答の比率が高かった課題(上位5課題)は以下の表のとおりである。

表 3.7-3 「実現しない」の回答の比率が高かった課題

課題	「実現しない」の比率(%)	実現予測時期(年)
14 数百 GHz 以上のクロック周波数で動作する超電導 LSI が実用化される。	38	2025
09 100 万接合以上を集積した高温超電導 LSI が開発される。	32	2021
08 直径 600mm のウェハの使用が普及する。	22	2016
16 無線通信システム用受動回路に高温超電導材料が普及する。	21	2016
35 光集積回路を併用した POPS(Peta Operations Per Second)級のマイクロプロセッサが開発される。	19	2022

表 3.7-4 「わからない」の回答の比率が高かった課題

課 題	「わからない」の比率(%)	実現予測時期(年)
23 人間の感情を理解・共有できる「人工知能チップ」が開発される。	15	2026
45 大陸間海底ケーブルなど長距離ファイバ通信に光ソリトン伝送が実用化される。	15	2015
12 DC～1000GHz 程度の広帯域固体増幅器が実用化される。	15	2018
42 フォトニッククリスタルによるナノ配線を用いた高集積CMOS LSIが開発される。	15	2020
41 波長数十Åの領域で発振する軟 X 線レーザーが実用化される。	14	2018

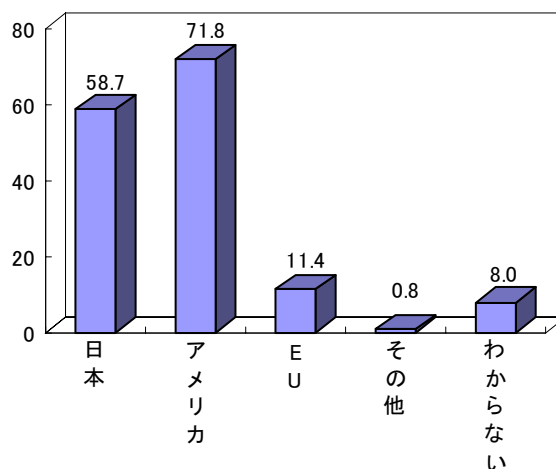
### 3.8. 現在第一線にある国等

#### 3.8.1. 全体的な傾向

現在第一線にある国等の回答結果は以下の図のようになっている。

エレクトロニクスの分野全般では、第一線にある国はアメリカとする割合が71.8%でトップだが、次いで日本とする割合が58.7%で続いており、第3位のEUは日本の5分の1程度の割合となっている。

図 3.8-1 第一線にある国(%)



現在第一線にある国が「日本」という回答の比率が高かった課題(上位5課題)と低かった課題(下位5課題)は以下の表のようであった。

表 3.8-1 「日本」という回答の比率が高かった課題

課 題	「日本」の比率(%)	実現予測時期(年)
31 紫外半導体レーザーが実用化される。	95	2010
65 高品位印刷なみの表示(600dpi以上)が可能なA3版以上のフラットパネルディスプレイが実用化される。	94	2013
26 家庭に一台、掃除、洗濯などを行う「お手伝いロボット」が普及する。	89	2018
10 不揮発性で書き換え可能な100Gビット以上のランダムアクセス半導体メモリが実用化される。	88	2016
07 1チップ当たり256Gビット以上の記憶容量を持つ超LSIが実用化される。	86	2015

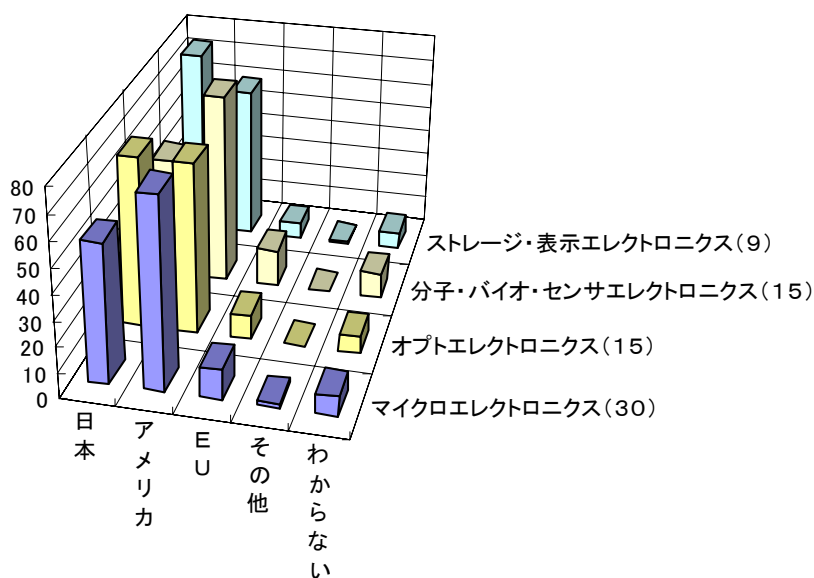
表 3.8-2 「日本」という回答の比率が低かった課題

課 題	「日本」の比率(%)	実現予測時期(年)
05 DNA の 4 種類の塩基の組み合わせによるデータの複製・分割・記憶システムを模倣した、自己増殖・修復機能をもつ DNA メモリが開発される。	4	2023
04 単細胞程度の生命体の外からの刺激に対する反応などのメカニズムが解明され、センサとしての利用が普及する。	10	2017
44 光による人工衛星間通信を利用した長距離基幹通信が実用化される。	19	2017
13 TOPS(Tera Operations Per Second)級のマイクロプロセッサが実用化される。	20	2019
29 C 言語のような高級言語で記述されたシステムレベルの要求仕様を与えると、数百 K ゲート以上の高性能な LSI を完全に自動で設計する技術が実用化される。	21	2011

### 3.8.2. フレーム毎(領域別、目的別)の現在第一線にある国等

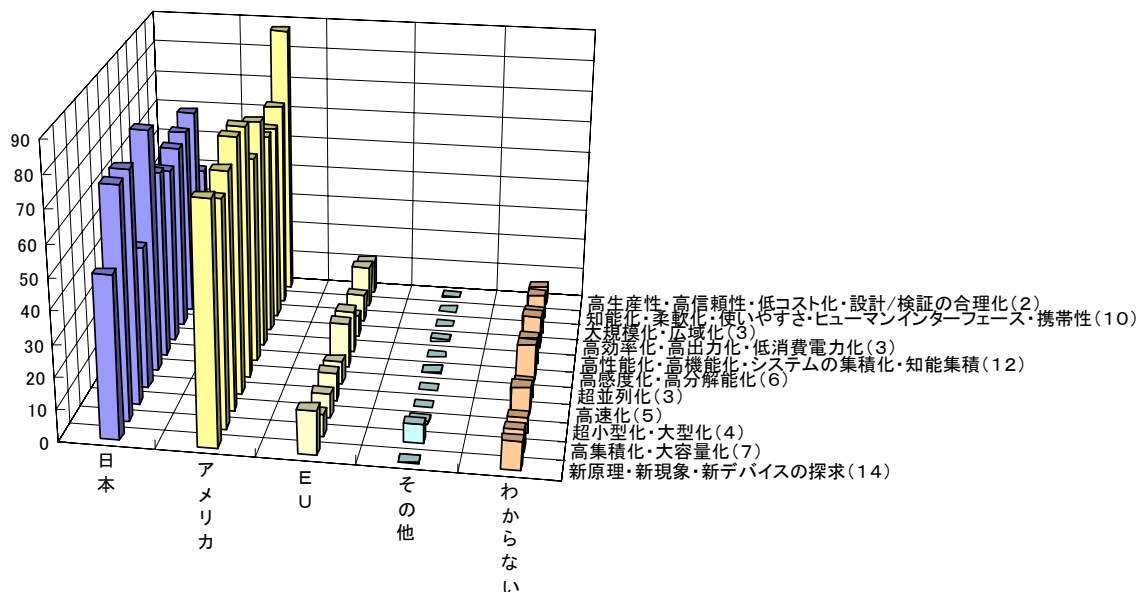
領域別にみると、「マイクロエレクトロニクス」と「分子・バイオ・センサエレクトロニクス」では20%程度以上の差をつけてアメリカが日本に対して優位となっており、「オプトエレクトロニクス」ではアメリカと日本が拮抗している。「ストレージ・表示エレクトロニクス」では日本がアメリカよりも10%以上高くなっている。

図 3.8-2 領域別第一線にある国(%)



目的別に見た場合、大きな差をつけて日本がアメリカに遅れをとっていると考えられているのが「高生産性・高信頼性・低コスト化・設計/検証の合理化」(48%の差)、「高速化」(36%の差)、「新原理・新現象・新デバイスの探求」(24%の差)、「高性能化・高機能化・システムの集積化・知能集積」(17%の差)であった。その他の項目について、アメリカと日本はほぼ拮抗しているが、「高集積化・大容量化」において日本がアメリカを3%上回っていた以外はすべてアメリカ優位という結果が得られた。

図 3.8-3 目的別第一線にある国(%)

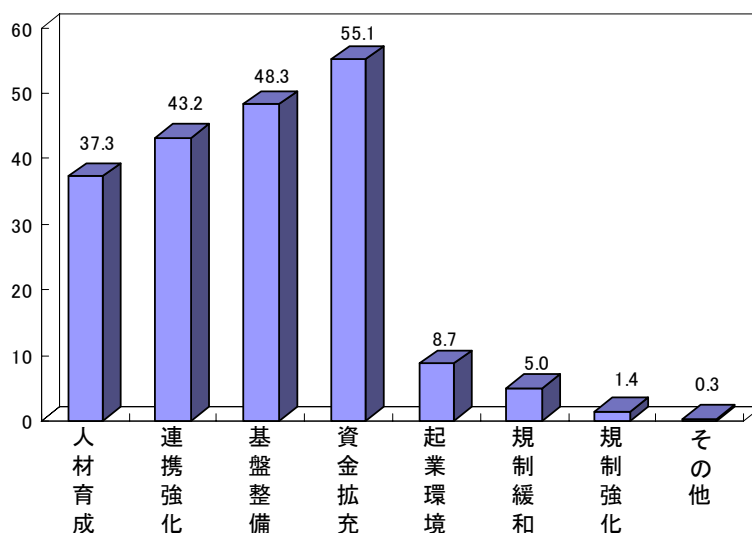


### 3.9. 我が国において政府がとるべき有効な手段

#### 3.9.1. 全体的な傾向

我が国において政府がとるべき有効な手段の回答(複数回答可)結果は下図に示すとおりである。全体的には、「研究開発資金の拡充」を挙げる回答者が多かった。次いで、「研究開発基盤の整備」、「産学官・分野間の連携強化」、「人材育成と確保」が多くなっている。

図 3.9-1 政府がとるべき手段(%)



政府がとるべき有効な手段の回答の比率が高い課題(回答の比率が51%以上で上位5位までの課題)を次の表に示す。

表 3.9-1 政府がとるべき有効な手段の回答の比率が高い課題

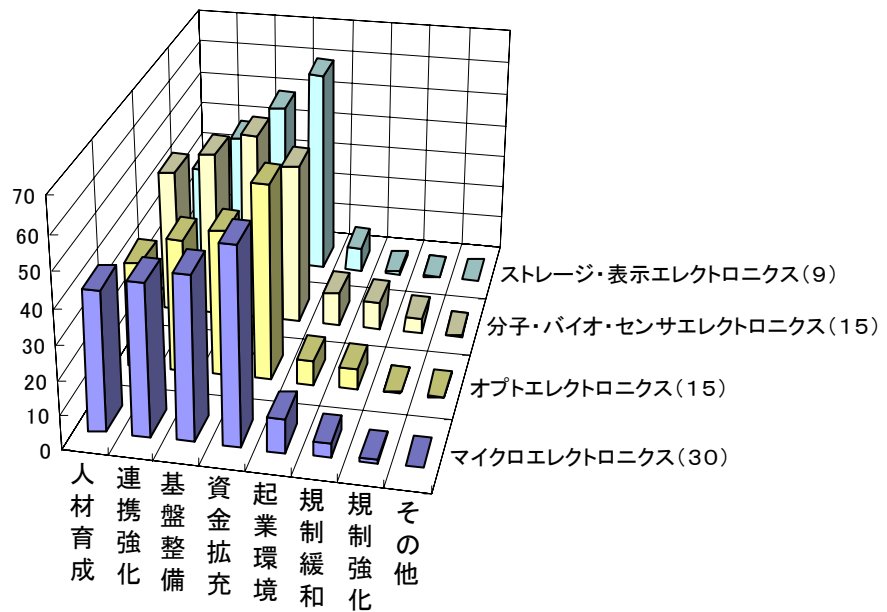
区分	課題	比率 (%)	実現予測時期(年)
人材育成と確保	05 DNA の 4 種類の塩基の組み合わせによるデータの複製・分割・記憶システムを模倣した、自己増殖・修復機能をもつ DNA メモリが開発される。	70	2023
	04 単細胞程度の生命体の外からの刺激に対する反応などのメカニズムが解明され、センサとしての利用が普及する。	68	2017
	23 人間の感情を理解・共有できる「人工知能チップ」が開発される。	67	2026
	02 量子コンピューティング等による、超高速計算やセキュリティ機能に応用できる量子位相デバイスが実用化される。	66	2020
	29 C 言語のような高級言語で記述されたシステムレベルの要求仕様を与えると、数百 K ゲート以上の高性能な LSI を完全に自動で設計する技術が実用化される。	65	2011
産学官・分野間の連携強化	06 10nm の最小寸法を持つ LSI パターンを、量産加工できる技術が実用化される。	60	2015
	54 脳神経の興奮状態が 1mm 程度の分解能でリアルタイムにわかる無侵襲性の CT 的装置が開発される。	58	2017
	60 各種センサ、マニピュレータなどを備えたマイクロマシンを遠隔操作することによる手術が実現する。	58	2017
	50 センサ/コントローラ/アクチュエータをマイクロマシン技術を用いて集積化した体内検査マイクロロボットなどが実用化される。	58	2020
	51 血栓治療等のための遠隔操作可能な超小型医用デバイスが実用化される。	57	2017
研究開発基盤の整備	48 血液中の ATP などをエネルギー源とする医療用マイクロマシンが開発される。	69	2022
	53 DNA 等の分子 1 個を同定できるバイオセンサが実用化される。	68	2017
	61 1 原子/1 分子が 1 ビットに対応するストレージシステムが開発される。	65	2022
	63 1 平方インチ当たり 1 テラビット以上の光メモリが実用化される。	62	2018
	57 抗体を利用したバイオセンサが実用化される。	61	2012
資金の拡充	37 100Gbps の信号 1000 チャンネルを多重化して 1 本の光ファイバで伝送できる光多重通信装置が実用化される。	78	2016
	07 1 チップ当たり 256G ビット以上の記憶容量を持つ超 LSI が実用化される。	75	2015
	10 不揮発性で書き換え可能な 100G ビット以上のランダム アクセス半導体メモリが実用化される。	74	2016
研究開発資金の拡充	65 高品位印刷なみの表示 (600dpi 以上) が可能な A3 版以上のフラットパネルディスプレイが実用化される。	73	2013
	06 10nm の最小寸法を持つ LSI パターンを、量産加工できる技術が実用化される。	71	2015

### 3.9.2. フレーム毎(領域別、目的別)の政府がとるべき有効な手段

領域別と目的別の割合 (%) は次のとおりである。

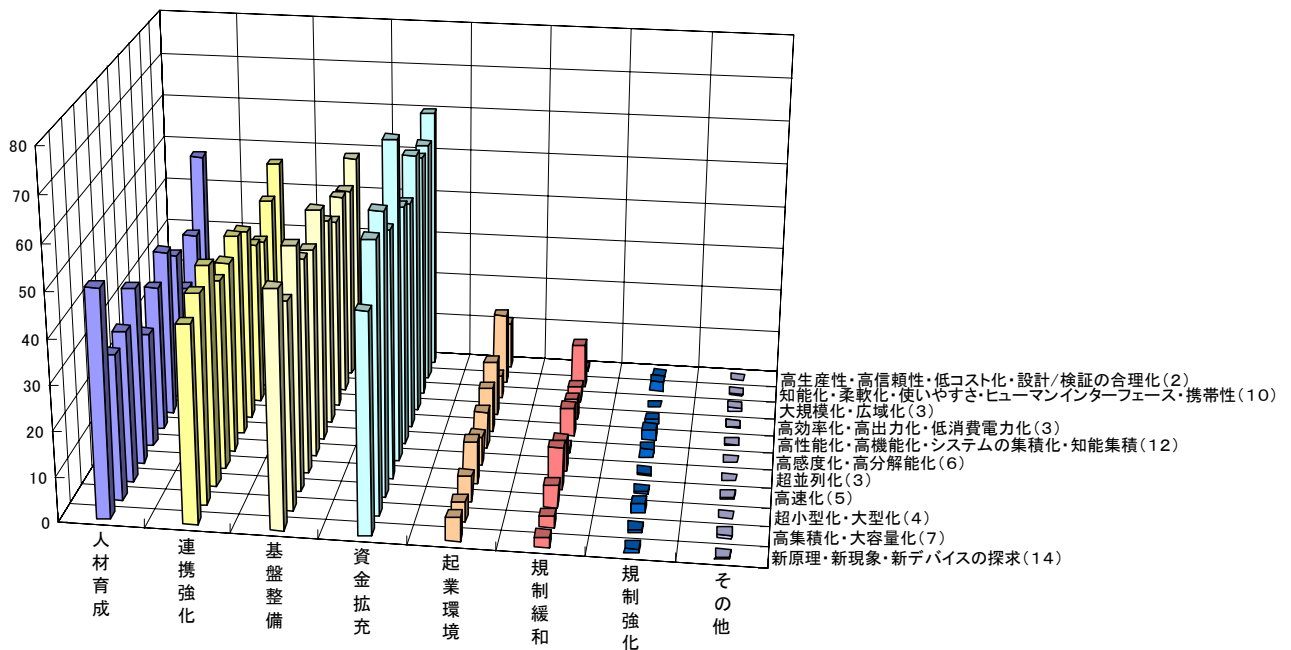
領域別にみると、「ストレージ・表示エレクトロニクス」領域では特に「研究開発資金の拡充」を挙げる回答者が多かった(61. 0%)。「分子・バイオ・センサエレクトロニクス」では「研究開発資金の拡充」(47. 1%)よりも「研究開発基盤の整備」(55. 3%)を挙げる回答者が多かった。

図 3.9-2 領域別政府がとるべき手段(%)



目的別で見たとき、「研究開発資金の拡充」を支持する割合が総じて高い。特にその傾向が顕著だったのは「超並列化」(71.5%)においてであった。「人材の育成と確保」を政府がとるべき有効な手段であるとしたのは「新原理・新現象・新デバイスの探求」であり、「産学官・分野間の連携強化」では「超小型化・大型化」、「研究開発基盤の整備」では「超小型化・大型化」、「起業環境等の整備」では「知能化・柔軟化・使いやすさ・ヒューマンインターフェース・携帯性」、「関連する規制の緩和・廃止」では「知能化・柔軟化・使いやすさ・ヒューマンインターフェース・携帯性」、「関連する規制の強化・新設」では「高性能化・高機能化・システムの集積化・知能集積」を挙げる回答者が多かった。

図 3.9-3 目的別政府がとるべき手段(%)

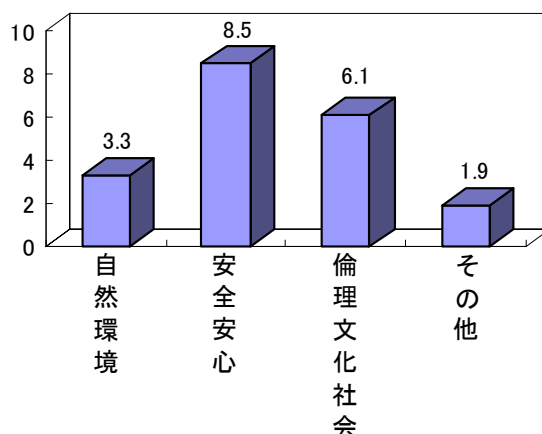


### 3.10. 我が国において懸念される問題点

#### 3.10.1. 全体的な傾向

課題の実現に際しての、我が国で懸念される問題点についての回答(複数回答可)結果は以下のようになっている。全体としては「安全・安心へのマイナスの影響」が最も割合が高いが、4つの選択肢全部を足し合わせても、19.8%と回答への反応はあまり高くない(無回答が多い)。

図 3.10-1 懸念される問題点(%)

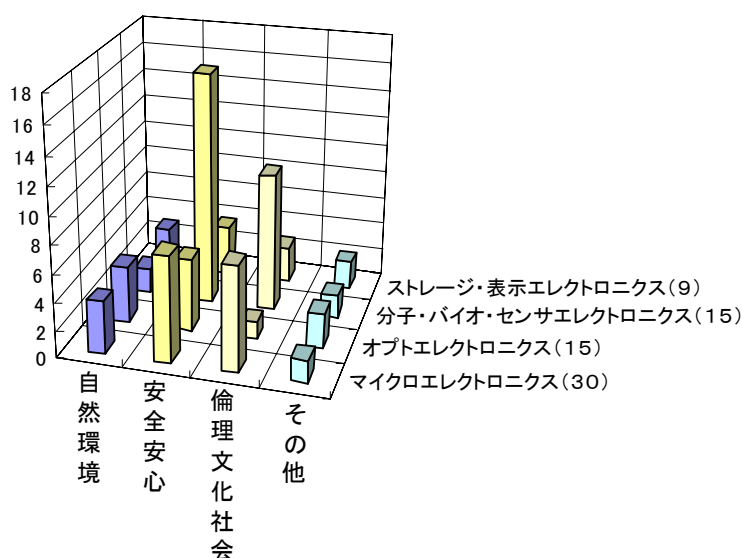


本分野では4つの選択肢のそれぞれで回答の比率が51%を超えた課題はなかった。

#### 3.10.2. フレーム毎(領域別、目的別)の懸念される問題点

領域別にみると、懸念されるマイナスの影響に関して10%以上の回答者が選んだのが「分子・バイオ・センサエレクトロニクス」領域での「安全・安心へのマイナスの影響」(16.7%)であった。

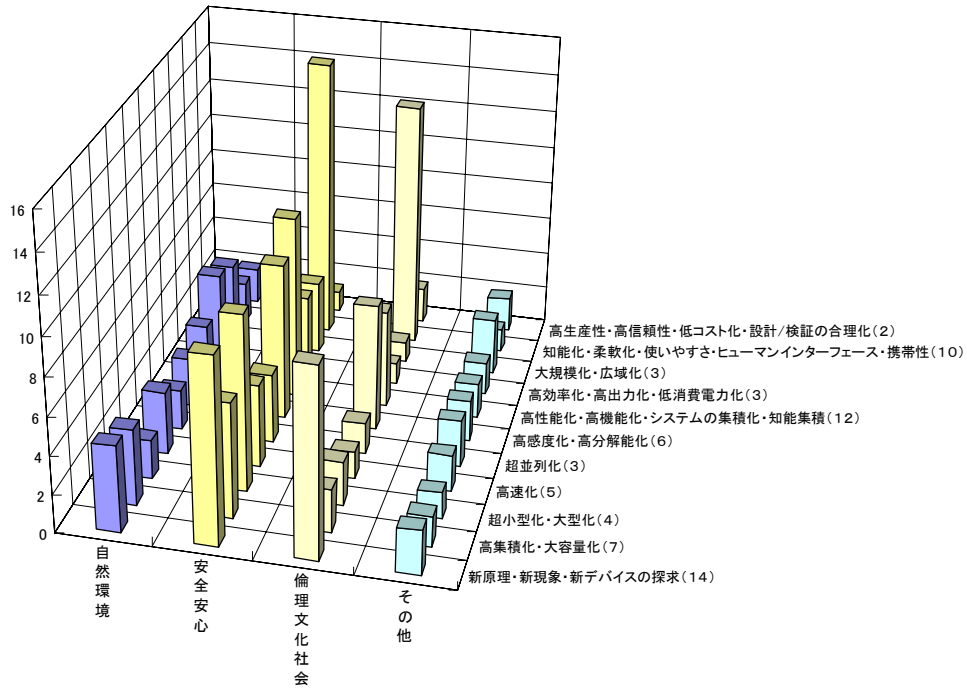
図 3.10-2 領域別懸念される問題点(%)



目的別にみると、「安全・安心へのマイナスの影響」の比率は、全体的に高い。それ以外では、「自然環境へのマイナスの影響」の比率が、「新原理・新現象・新デバイスの探求」、「高効率化・高出力化・低消費電力化」等で高く、「倫理・文化・社会へのマイナスの影響」の比率が、「知能化・柔軟化・使いやすさ・ヒューマンインターフェース・携帯性」、「新原理・新現象・新デバイスの探求」等で高かった。

目立ったものとして、「知能化・柔軟化・使いやすさ・ヒューマンインターフェース・携帯性」では、「安全・安心へのマイナスの影響」が14.9%、「倫理・文化・社会へのマイナス影響」が13.1%と群を抜いて高い比率を示した。

図 3.10-3 目的別懸念される問題点(%)



### 3.11. 第6回調査との比較(前回調査との比較)

今回調査の課題(69課題)のうち、継続課題(前回調査と課題の内容が同一)が19課題、修正課題(前回調査の課題の内容を一部修正)が32課題、新規課題が18課題となっている。それぞれの割合は、28%、46%、26%となっている。このうち継続課題について前回調査の重要度の割合と実現予測時期を今回調査のそれと比較した結果を次の表に示す。

重要度指数が増加した課題が6課題、変わらない課題が1課題、減少した課題が12課題となっている。

また、実現予測時期についてみると、実現予測時期が早まった課題が3課題、遅くなった課題が14課題、変わらなかった課題が2課題となっている。実現予測時期が大幅に変更となった課題はなかった。

表 3.11-1 第6回調査からの継続課題との比較

課題 (今回)	重要度指数 / 実現予測時期(年)		課題 (前回)
	今回	前回	
07 1チップ当たり256Gビット以上の記憶容量を持つ超LSIが実用化される。	85 2015	94 2014	06 1チップ当たり256Gビットメモリ以上の超LSIが実用化される。
10 不揮発性で書き換え可能な100Gビット以上のランダムアクセス半導体メモリが実用化される。	88 2016	88 2017	08 不揮発性で書き換え可能な100Gビット以上のランダムアクセス半導体メモリが実用化される。
21 500℃の高温環境下で使用できる耐高温論理集積回路が実用化される。	46 2017	51 2015	17 500℃の高温環境下で使用できる耐高温論理集積回路が実用化される。
22 性能10GOPS(Giga Operations Per Second)程度でかつ消費電力10ミリワット以下のプロセッサLSIが開発される。	86 2018	87 2014	19 性能10GIPS程度でかつ消費電力10ミリワット以下のプロセッサLSIが開発される。

課題 (今回)	重要度指数 / 実現予測時期(年)		課題 (前回)
	今回	前回	
23 人間の感情を理解・共有できる「人工知能チップ」が開発される。	59 2026	64 2024	21 人間の感情を理解・共有できる「人工知能チップ」が開発される。
26 家庭に一台、掃除、洗濯などを行う「お手伝いロボット」が普及する。	61 2018	50 2018	25 家庭に一台、掃除、洗濯などを行う「お手伝いロボット」が普及する。
34 固体有機材料による、例えばレーザーや光スイッチなどのデバイスが実用化される。	56 2014	52 2012	35 固体有機材料による、例えばレーザーや光スイッチなどのデバイスが実用化される。
36 10Gbps の光加入者系システムが家庭に普及する。	86 2014	79 2015	37 10Gbits/s の光加入者系システムが家庭に普及する。
38 例えば光インターコネクションなどに利用される、1000×1000 程度の面発光レーザーアレイが実用化される。	63 2015	61 2014	39 例えば光インターコネクションなどに利用される、1000×1000程度の面発光レーザーアレイが実用化される。
41 波長数十Åの領域で発振する軟X線レーザーが実用化される。	50 2018	58 2016	43 波長数十Åの領域で発振する軟X線レーザーが実用化される。
45 大陸間海底ケーブルなど長距離ファイバ通信に光ソリトン伝送が実用化される。	59 2015	65 2010	47 大陸間海底ケーブルなど長距離ファイバ通信に光ソリトン伝送が実用化される。
47 分子1個をスイッチングの基本素子とする論理、記憶用LSIが開発される。	62 2023	61 2021	51 分子1個をスイッチングの基本素子とする論理、記憶用LSIが開発される。
48 血液中のATPなどをエネルギー源とする医療用マイクロマシンが開発される。	67 2022	69 2017	52 血液中のATPなどをエネルギー源とする医療用マイクロマシンが開発される。
54 脳神経の興奮状態が1mm程度の分解能でリアルタイムにわかる無侵襲性のCT的装置が開発される。	62 2017	77 2012	59 脳神経の興奮状態が1mm程度の分解能でリアルタイムにわかる無侵襲性のCT的装置が開発される。
57 抗体を利用したバイオセンサが実用化される。	61 2012	65 2007	62 抗体を利用したバイオセンサが実用化される。
58 人体埋込型装置による病状の診断・治療が実用化される。	62 2016	69 2013	63 人体埋込型装置による病状の診断・治療が実用化される。
61 1原子/1分子が1ビットに対応するストレージシステムが開発される。	68 2022	76 2022	66 1原子/1分子が1ビットに対応するストレージシステムが開発される。
62 1平方インチ当たり1テラビットの記録が可能な磁気記憶ハードディスクが開発される。	79 2015	83 2017	67 1平方インチ当たり1000Gビットの記録が可能な磁気記憶ハードディスクが開発される。
69 いつでもどこでも映画を楽しめるような、メガネの中にはいる超小型ファイル装置が実用化される。	52 2016	46 2015	74 いつでもどこでも映画を楽しめるような、メガネの中にはいる超小型ファイル装置が実用化される。

3.12. 集計結果一覧

区分	課題番号	課題	アンケート区分	回答者(人)	専門度(%)			我が国にとっての重要度(%)				期待される効果(%)				
					大	中	小	指数	大	中	小	なし	社会・経済発展への寄与	地球的規模の諸問題の解決	生活者ニーズへの対応	人類の知的資源の拡大
マ イ ク ロ エ レ ク ト ロ ニ ク ス	1	単原子・単分子を操作する技術がデバイス作製や遺伝子操作の技術として実用化される。	1	237	19	37	45	79	60	37	3	0	76	18	28	46
			2	192	17	36	47	83	68	29	3	0	79	11	20	49
			専	32	100	0	0	88	78	19	3	0	88	13	19	50
	2	量子コンピューティング等による、超高速計算やセキュリティ機能に応用できる量子位相デバイスが実用化される。	1	214	19	34	47	67	40	47	13	0	79	12	17	41
			2	173	17	35	49	66	38	51	11	0	82	5	13	40
			専	29	100	0	0	78	62	28	10	0	79	10	24	52
	3	単電子効果を用いたLSIが実用化される。	1	237	24	42	34	69	46	40	12	2	76	10	15	27
			2	187	19	48	33	73	50	41	8	1	81	8	13	25
			専	36	100	0	0	76	58	31	8	3	81	14	19	11
4	単細胞程度の生命体の外からの刺激に対する反応などのメカニズムが解明され、センサーとしての利用が普及する。	1	133	3	21	76	58	25	56	20	0	53	18	61	25	
		2	114	3	15	82	55	17	69	14	0	57	6	58	18	
		専	3	100	0	0	50	0	100	0	0	67	33	0	67	
5	DNAの4種類の塩基の組み合わせによるデータの複製・分割・記憶システムを模倣した、自己増殖・修復機能をもつDNAメモリが開発される。	1	129	5	18	77	59	31	45	20	4	62	12	22	49	
		2	108	3	13	84	56	21	66	9	4	68	5	18	49	
		専	3	100	0	0	50	33	33	0	33	33	0	0	100	
6	10nmの最小寸法を持つLSIパターンを、量産加工できる技術が実用化される。	1	251	41	34	24	87	76	21	3	0	92	6	29	21	
		2	191	43	36	21	91	84	15	2	0	95	5	27	15	
		専	82	100	0	0	95	91	7	1	0	98	2	29	16	
7	1チップ当たり256Gビット以上の記憶容量を持つ超LSIが実用化される。	1	247	43	34	22	81	64	31	4	0	90	6	30	17	
		2	191	42	36	22	85	72	24	4	0	92	3	26	11	
		専	81	100	0	0	89	81	14	5	0	90	4	25	12	
8	直径600mmのウェハの 使用が普及する。	1	226	35	36	29	59	34	39	22	5	83	4	17	8	
		2	181	33	39	28	60	32	48	17	3	90	1	13	4	
		専	59	100	0	0	66	42	42	12	4	92	2	14	2	
9	100万接合以上を集積した高温超電導LSIが開発される。	1	179	14	39	47	49	20	40	34	5	70	12	15	24	
		2	143	13	37	50	49	18	43	37	2	81	6	10	20	
		専	19	100	0	0	75	61	17	22	0	79	11	32	21	
10	不揮発性で書き換え可能な 100Gビット以上のランダム アクセス半導体メモリが実用化される。	1	226	40	33	27	83	67	30	3	0	92	5	38	13	
		2	180	39	34	27	88	76	21	2	0	93	2	33	7	
		専	70	100	0	0	94	88	10	1	0	94	1	37	11	

「エレクトロニクス」分野

実現予測時期		現在、第一線にある国等(%)						我が国において政府がとるべき有効な手段等(%)							我が国において懸念される問題点(%)						
		日本	アメリカ	EU	その他の国	わからない	人材育成と確保	産学官・分野間の連携強化	研究開発基盤の整備	研究開発資金の拡充	起業環境等の整備	関連する規制の緩和・廃止	関連する規制の強化・新設	その他	自然環境へのマイナスの影響	安全・安心へのマイナスの影響	倫理・文化・社会へのマイナスの影響	その他のマイナスの影響			
2006	2011	2016	2021	2026	2031	実現しない (%)	わからない (%)														
		2	2	52	92	17	0	3	49	46	55	55	9	5	5	0	11	18	36	3	
		1	1	52	94	13	0	3	55	47	60	59	5	3	2	0	12	16	48	1	
		0	0	72	94	28	0	0	63	34	66	63	3	0	3	0	19	16	34	6	
		8	6	39	89	21	0	7	62	43	45	49	6	1	0	1	3	11	2	3	
		7	5	35	90	18	0	6	66	43	51	53	2	1	0	1	1	12	2	2	
		10	0	31	97	52	0	0	69	52	55	55	7	0	0	3	3	14	3	3	
		10	5	72	70	24	0	5	41	49	46	49	6	1	0	1	3	3	3	3	
		9	2	80	75	17	0	3	39	53	53	56	2	0	0	0	3	2	3	2	
		8	3	83	72	25	0	0	25	53	50	61	0	0	0	0	6	0	8	3	
		2	6	18	68	20	0	24	50	42	48	35	21	7	4	0	11	21	17	2	
		3	2	10	79	18	0	17	68	36	53	32	12	5	2	0	7	21	21	2	
		0	0	0	100	0	0	0	33	33	67	33	0	33	0	0	0	0	0	0	
		10	10	6	76	10	0	21	62	40	53	41	6	9	7	0	15	18	37	1	
		8	6	4	84	9	1	14	70	40	60	41	5	6	4	0	9	16	41	2	
		33	0	0	100	0	0	0	0	67	100	67	0	0	0	0	0	0	0	0	
		6	3	80	82	7	7	2	33	56	49	64	6	2	0	0	5	4	2	2	
		2	0	85	86	8	9	0	30	60	49	71	4	2	1	1	5	4	1	2	
		4	0	89	90	16	15	0	34	62	50	77	5	5	1	2	5	0	1	2	
		3	3	82	70	6	23	3	30	53	48	68	7	2	0	0	5	4	3	2	
		2	1	86	74	6	24	1	26	53	48	75	3	2	1	1	5	2	1	2	
		4	0	89	81	9	37	0	28	57	46	78	5	5	1	1	4	0	2	2	
		25	10	76	47	9	6	8	17	33	37	44	4	2	0	2	8	3	2	3	
		22	7	84	45	4	9	5	12	33	37	60	3	2	1	2	8	2	0	2	
		29	3	88	46	7	12	3	19	32	42	59	5	5	2	2	10	0	0	2	
		30	13	63	58	11	0	15	36	40	42	41	7	1	0	1	7	4	1	2	
		32	6	71	61	6	0	13	34	36	41	44	3	1	0	2	3	2	0	1	
		21	5	74	68	11	0	5	53	53	53	53	16	5	0	0	5	0	0	5	
		4	2	82	75	8	6	2	32	51	50	66	8	2	0	0	5	4	2	2	
		2	1	88	74	4	5	1	32	52	53	74	4	2	1	1	4	3	0	1	
		6	0	93	79	7	9	0	40	57	56	80	7	6	1	1	4	0	0	1	

(注)図形の見方に関しては7ページを参照

区分	課題番号	課題	アンケート区分	回答者(人)	専門度(%)			我が国にとっての重要度(%)					期待される効果(%)			
					大	中	小	指数	大	中	小	なし	社会・経済発展への寄与	地球的規模の諸問題の解決	生活者ニーズへの対応	人類の知的資源の拡大
マイク	11	クロック周波数50GHz以上のLSIが実用化される。	1	237	33	40	27	80	63	32	5	0	91	6	36	17
			2	193	28	45	27	84	70	26	3	1	92	3	31	9
			専	54	100	0	0	90	81	15	4	0	96	2	30	7
	12	DC~1000GHz程度の広帯域固体増幅器が実用化される。	1	185	14	39	46	64	37	48	13	2	87	4	24	14
			2	148	14	41	45	64	34	57	8	2	88	3	18	8
			専	21	100	0	0	80	62	33	5	0	90	5	19	14
	13	TOPS(Tera Operations Per Second)級のマイクロプロセッサが実用化される。	1	207	19	35	46	81	64	34	3	0	88	10	36	18
			2	161	17	36	47	86	73	25	2	0	92	7	33	11
			専	28	100	0	0	89	79	21	0	0	93	14	46	21
14	数百GHz以上のクロック周波数で動作する超電導LSIが実用化される。	1	167	11	32	57	47	17	43	32	8	69	8	14	23	
		2	132	9	27	64	46	12	53	29	5	77	5	10	16	
		専	12	100	0	0	56	42	17	25	17	75	0	25	8	
15	10nm以下の分解能をもつX線顕微鏡が開発される。	1	138	10	26	64	53	19	57	23	1	54	7	7	68	
		2	114	5	28	67	52	14	67	18	1	58	0	3	65	
		専	6	100	0	0	42	17	33	33	17	33	0	0	83	
16	無線通信システム用受動回路に高温超電導材料が普及する。	1	168	13	30	58	52	21	48	27	4	76	8	32	12	
		2	131	11	29	60	50	16	56	24	3	83	5	22	8	
		専	15	100	0	0	68	47	40	7	7	80	0	33	0	
17	実時間で論理機能を変更する100Mゲート規模のLSIが実用化される。	1	199	21	38	42	75	54	39	6	1	88	5	37	17	
		2	156	20	40	40	81	64	33	3	0	92	3	31	9	
		専	31	100	0	0	85	74	19	6	0	90	0	35	16	
18	ソフトウェアでセンター周波数、バンド巾、変調方式、誤り訂正方式などの仕様変更可能なカードサイズのソフトウェア無線機が実用化される。	1	172	14	31	55	76	58	32	9	1	82	5	55	6	
		2	141	11	30	59	85	71	26	3	0	87	4	51	1	
		専	15	100	0	0	97	93	7	0	0	100	0	47	0	
19	10cm以下の分解能を持つGPSなどによる自動車の自動運転システムが実用化される。	1	185	10	19	70	71	49	40	10	2	71	14	74	6	
		2	146	5	21	74	74	53	38	8	1	69	6	77	3	
		専	8	100	0	0	84	75	13	13	0	75	13	50	13	
20	ギガビット級の記憶能力を持ったニューロン・チップが実用化される。	1	183	10	28	62	59	31	46	23	1	73	9	34	33	
		2	147	10	27	64	57	24	55	20	1	75	5	33	33	
		専	14	100	0	0	55	21	57	21	0	64	0	21	21	

「エレクトロニクス」分野

実現予測時期		現在、第一線にある国等(%)						我が国において政府がとるべき有効な手段等(%)								我が国において懸念される問題点(%)					
		日本	アメリカ	EU	その他の国	わからない	人材育成と確保	産学官・分野間の連携強化	研究開発基盤の整備	研究開発資金の拡充	起業環境等の整備	関連する規制の緩和・廃止	関連する規制の強化・新設	その他	自然環境へのマイナスの影響	安全・安心へのマイナスの影響	倫理・文化・社会へのマイナスの影響	その他のマイナスの影響			
2006	2011	2016	2021	2026	2031	実現しない (%)	わからない (%)														
			5	4	46	93	12	1	2	40	48	49	64	10	3	0	1	5	6	2	3
			3	4	42	93	7	1	1	45	49	52	70	7	1	0	0	4	6	0	2
			9	0	48	93	11	2	0	43	48	63	70	9	2	0	0	6	2	0	2
			9	16	47	70	19	0	16	41	42	49	48	10	4	0	1	5	4	1	4
			6	15	36	76	12	0	16	43	45	52	51	6	3	0	1	6	4	0	2
			10	0	52	76	29	0	5	52	62	43	43	5	0	0	5	0	10	0	5
			0	10	27	91	6	1	4	46	53	51	57	11	3	0	0	3	5	3	2
			0	7	20	94	3	0	2	50	52	55	66	9	1	0	0	2	4	1	2
			0	4	43	96	11	0	0	39	57	57	82	14	0	0	0	4	7	0	4
			31	16	49	54	12	0	19	39	37	40	33	5	0	0	1	5	5	2	2
			38	10	47	59	5	0	20	45	36	42	30	3	1	0	2	3	3	0	2
			50	0	42	67	0	0	8	50	42	33	42	0	0	0	0	0	0	0	0
			1	14	44	53	30	0	25	43	40	48	42	4	1	0	0	4	10	1	4
			0	9	49	63	27	0	19	42	46	52	43	2	0	0	0	1	11	1	3
			0	0	67	83	67	0	0	33	17	83	50	0	0	0	0	0	33	0	0
			20	8	58	58	15	0	15	27	33	36	41	12	7	1	1	2	5	1	2
			21	3	67	59	11	0	13	27	34	41	43	11	2	0	0	2	5	0	2
			20	7	73	73	20	0	0	13	27	60	60	20	0	0	0	0	13	0	0
			1	8	48	80	6	3	9	43	43	46	55	13	2	0	1	3	4	2	3
			1	6	44	84	4	1	7	48	49	49	67	10	2	0	0	2	4	1	1
			0	0	68	87	6	3	3	55	61	42	68	10	3	0	0	3	0	0	0
			0	6	52	73	27	0	9	41	42	39	53	19	16	1	0	3	9	5	2
			0	4	57	77	21	0	4	38	43	40	65	17	15	1	0	1	9	3	1
			0	0	60	67	40	0	0	53	53	53	67	27	13	0	0	0	20	0	7
			6	4	59	75	21	0	9	21	38	44	48	14	21	5	1	8	18	7	2
			5	3	63	80	14	0	6	17	41	44	58	12	15	7	0	5	18	3	1
			13	0	50	75	25	0	0	50	38	38	63	13	25	13	0	13	38	0	0
			8	13	46	68	11	1	16	54	48	43	43	11	2	1	1	4	7	8	3
			7	10	47	77	8	0	12	63	45	45	45	7	1	1	0	4	6	11	3
			7	14	57	57	7	0	21	36	43	36	43	7	0	7	0	7	7	21	7

(注)図形の見方に関しては7ページを参照

区分	課題番号	課題	アンケート区分	回答者(人)	専門度(%)			我が国にとっての重要度(%)					期待される効果(%)			
					大	中	小	指数	大	中	小	なし	社会・経済発展への寄与	地球的規模の諸問題の解決	生活者ニーズへの対応	人類の知的資源の拡大
マイク	21	500℃の高温環境下で使用できる耐高温論理集積回路が実用化される。	1	185	17	35	48	47	16	41	40	3	58	29	23	22
			2	149	14	34	52	46	11	55	32	2	70	24	17	15
			専	21	100	0	0	51	19	52	24	5	67	43	19	14
	22	性能10GOPS(Giga Operations Per Second)程度でかつ消費電力10ミリワット以下のプロセッサLSIが開発される。	1	207	23	36	41	82	67	28	5	0	84	15	47	15
			2	162	20	38	41	86	74	22	4	0	94	14	42	4
			専	33	100	0	0	92	84	16	0	0	97	9	52	0
	23	人間の感情を理解・共有できる「人工知能チップ」が開発される。	1	176	7	22	71	61	32	48	17	2	55	7	66	34
			2	146	4	18	77	59	25	61	13	1	62	2	71	32
			専	6	100	0	0	58	33	33	33	0	67	0	50	33
24	カードサイズの自動通訳システム(音声入・出力)が実用化される。	1	202	6	31	62	77	59	32	8	0	72	17	84	19	
		2	164	4	30	65	81	64	31	5	0	76	5	87	10	
		専	7	100	0	0	100	100	0	0	0	86	29	57	14	
25	世界中で使用できる100Mbps程度のマルチメディア無線携帯端末が普及する。	1	218	12	34	54	82	67	27	5	0	83	11	75	11	
		2	171	8	34	58	90	81	16	2	1	88	6	73	4	
		専	13	100	0	0	94	92	0	8	0	85	15	69	15	
26	家庭に一台、掃除、洗濯などを行う「お手伝いロボット」が普及する。	1	189	3	20	77	60	32	47	21	1	46	5	92	4	
		2	151	3	16	81	61	29	56	15	0	44	2	89	2	
		専	4	100	0	0	75	50	50	0	0	75	25	50	0	
27	盲人に対するナビゲーション、医療用カード、物流用TAG等に使用するバッテリーレスで非接触型のスマートICカードやRF-ID(Radio Frequency Identification) TAGが普及する。	1	212	12	30	58	72	48	45	7	0	63	8	92	4	
		2	168	10	30	60	75	53	41	6	0	61	2	91	1	
		専	17	100	0	0	94	88	12	0	0	82	0	88	0	
28	いつでも、どこでも、誰とでも情報がやりとりできる、ワンチップのエビキタス(Ubiquitous)コンピュータが開発される。	1	172	11	33	56	74	51	43	6	0	80	5	79	11	
		2	144	9	33	58	79	60	36	4	0	86	1	78	3	
		専	13	100	0	0	92	85	15	0	0	92	8	77	0	
29	C言語のような高級言語で記述されたシステムレベルの要求仕様を与えると、数百Kゲート以上の高性能なLSIを完全に自動で設計する技術が実用化される。	1	168	15	29	56	77	57	37	5	1	92	2	17	13	
		2	136	16	24	60	85	71	26	2	0	94	1	11	4	
		専	22	100	0	0	89	77	23	0	0	100	0	18	0	
30	LSI中の10nm以下の領域の信号を1ピコ秒の時間分解能で検出する装置が実用化される。	1	166	14	35	51	57	27	50	23	1	82	2	11	25	
		2	134	13	37	51	55	18	67	14	1	88	1	4	22	
		専	17	100	0	0	63	29	65	6	0	82	0	6	29	

「エレクトロニクス」分野

実現予測時期		現在、第一線にある国等(%)						我が国において政府がとるべき有効な手段等(%)								我が国において懸念される問題点(%)						
2006	2011	2016	2021	2026	2031	日本	アメリカ	EU	その他の国	わからない	人材育成と確保	産学官・分野間の連携強化	研究開発基盤の整備	研究開発資金の拡充	起業環境等の整備	関連する規制の緩和・廃止	関連する規制の強化・新設	その他	自然環境へのマイナスの影響	安全・安心へのマイナスの影響	倫理・文化・社会へのマイナスの影響	その他のマイナスの影響
		実現しない (%)	わからない (%)																			
		9	14	42	60	12	0	22	35	43	42	46	9	1	0	1	8	4	1	3		
		7	10	44	72	10	0	18	34	42	51	51	7	2	0	0	5	3	1	2		
		0	5	57	71	24	0	5	33	67	71	71	14	0	0	0	14	0	0	0		
		4	7	51	87	8	1	5	51	46	48	57	11	2	0	0	4	4	2	2		
		3	5	53	93	4	2	3	51	44	51	71	8	1	1	0	4	4	1	2		
		9	6	79	94	6	3	3	55	55	64	76	9	0	0	0	3	3	0	3		
		14	15	27	65	11	0	22	58	41	45	34	10	3	3	1	5	12	29	2		
		15	15	25	75	11	0	15	67	40	51	38	7	3	2	1	3	12	37	1		
		17	17	67	50	17	0	17	67	50	33	33	0	0	0	17	0	17	50	0		
		0	4	77	57	16	0	9	29	44	38	53	19	4	1	0	2	6	7	2		
		0	3	84	57	13	0	8	27	48	38	66	15	1	0	0	2	6	7	2		
		0	0	100	86	14	0	0	43	43	71	71	14	0	0	0	0	14	0	0		
		0	1	72	79	50	0	2	29	36	38	54	21	27	3	1	6	11	10	2		
		1	1	81	82	49	0	1	26	36	42	65	16	21	2	1	2	12	10	2		
		8	0	92	85	62	0	0	46	62	54	62	31	38	0	0	8	8	23	0		
		7	5	75	39	7	0	14	22	31	33	40	32	11	2	1	4	19	17	1		
		5	1	89	32	3	0	5	22	34	31	54	32	9	2	1	3	21	19	0		
		0	0	75	50	0	0	0	75	75	25	25	50	0	0	0	0	0	0	0		
		1	2	68	59	32	1	7	19	35	28	48	26	25	5	2	2	11	7	3		
		1	2	80	58	24	1	4	14	39	29	63	26	20	3	1	1	11	7	1		
		0	0	82	53	47	0	0	29	53	29	53	47	18	12	0	0	18	12	0		
		2	5	48	84	16	0	9	35	44	35	53	23	13	2	0	5	10	9	2		
		1	3	46	88	11	0	4	30	43	43	60	23	8	1	0	3	9	6	1		
		0	0	62	77	31	0	0	38	31	54	69	38	8	8	0	8	8	8	0		
		0	5	29	95	14	1	2	55	46	42	48	20	3	0	0	2	4	3	3		
		0	2	21	96	8	1	0	65	47	43	57	15	1	0	0	1	1	2	1		
		0	0	41	91	14	5	0	68	45	55	68	18	0	0	0	0	5	5	0		
		4	10	56	75	17	0	13	34	45	49	56	9	1	0	0	4	3	2	3		
		2	8	58	79	13	0	11	30	46	54	64	6	0	0	0	3	1	1	2		
		6	0	71	82	18	0	6	29	35	59	76	29	0	0	0	0	0	0	0		

(注)図形の見方に関しては7ページを参照

区分	課題番号	課題	アンケート区分	回答者(人)	専門度(%)			我が国にとっての重要度(%)				期待される効果(%)				
					大	中	小	指数	大	中	小	なし	社会・経済発展への寄与	地球的規模の諸問題の解決	生活者ニーズへの対応	人類の知的資源の拡大
オプトエレクトロニクス	31	紫外半導体レーザーが実用化される。	1	178	19	31	49	67	41	45	13	1	84	4	38	12
			2	148	18	30	52	69	42	50	8	0	91	1	31	7
			専	26	100	0	0	77	54	46	0	0	88	0	46	12
	32	外部安定化回路無しで波長の温度依存度 $10^{-7}/\text{deg}$ (水晶振動子程度)の半導体レーザーが実用化される。	1	132	22	28	50	58	28	47	24	1	77	7	23	17
			2	109	20	28	51	57	23	58	19	0	88	2	21	7
			専	22	100	0	0	67	41	45	14	0	86	0	32	14
	33	自然放出の制御等による、しきい値電流が動作電流の $10^{-4}$ 以下の半導体レーザーが開発される。	1	128	23	34	44	57	27	49	24	0	80	7	24	21
			2	108	19	35	46	57	23	58	19	0	87	3	19	13
			専	20	100	0	0	61	30	55	15	0	80	0	15	30
34	固体有機材料による、例えばレーザーや光スイッチなどのデバイスが実用化される。	1	144	17	27	56	56	25	51	22	1	77	5	28	14	
		2	121	15	27	58	56	23	59	18	1	88	3	25	7	
		専	18	100	0	0	65	39	44	17	0	89	6	39	6	
35	光集積回路を併用したPOPS(Peta Operations Per Second)級のマイクロプロセッサが開発される。	1	154	11	32	56	60	32	48	18	2	84	5	21	16	
		2	128	12	28	60	61	29	58	13	1	89	2	16	9	
		専	15	100	0	0	67	40	47	13	0	93	13	7	7	
36	10Gbpsの光加入者系システムが家庭に普及する。	1	185	23	25	51	78	60	32	8	1	86	9	72	13	
		2	151	21	26	54	86	74	21	5	1	92	5	69	5	
		専	31	100	0	0	81	68	23	6	3	90	13	68	13	
37	100Gbpsの信号1000チャンネルを多重化して1本の光ファイバで伝送できる光多重通信装置が実用化される。	1	163	25	25	50	78	59	34	6	1	89	13	50	10	
		2	134	25	24	51	84	70	25	4	1	93	7	49	5	
		専	33	100	0	0	82	67	30	0	3	100	18	42	9	
38	例えば光インターコネクションなどに利用される、 $1000 \times 1000$ 程度の面発光レーザーアレイが実用化される。	1	151	22	26	52	64	36	50	12	1	90	7	30	11	
		2	128	20	31	48	63	31	59	9	1	91	3	22	8	
		専	26	100	0	0	69	46	42	8	4	96	8	27	12	
39	チップ間光インターコネクション技術が実用化される。	1	187	22	32	46	67	40	48	12	1	92	5	27	16	
		2	153	22	31	47	69	43	48	8	1	93	3	18	8	
		専	34	100	0	0	72	50	44	0	6	94	9	24	9	
40	光通信、光交換の分野において、信号光の波長を異なる波長に直接変換する技術が実用化される。	1	151	25	24	51	65	38	49	13	1	89	6	26	13	
		2	120	28	23	48	66	38	53	8	1	93	3	21	8	
		専	34	100	0	0	71	47	44	6	3	97	3	24	9	



「エレクトロニクス」分野

実現予測時期		現在、第一線にある国等(%)						我が国において政府がとるべき有効な手段等(%)								我が国において懸念される問題点(%)								
		日本	アメリカ	EU	その他の国	わからない	人材育成と確保	産学官・分野間の連携強化	研究開発基盤の整備	研究開発資金の拡充	起業環境等の整備	関連する規制の緩和・廃止	関連する規制の強化・新設	その他	自然環境へのマイナスの影響	安全・安心へのマイナスの影響	倫理・文化・社会へのマイナスの影響	その他のマイナスの影響						
2006	2011	2016	2021	2026	2031	(%)	(%)																	
						0	7	83	46	10	0	7	28	49	30	58	14	2	0	0	8	9	2	3
						0	4	95	41	5	0	3	23	45	30	68	9	1	0	0	6	11	0	2
						0	8	92	31	0	0	8	31	23	42	77	19	4	0	0	4	12	0	4
						11	17	67	52	13	0	13	33	35	34	48	8	2	0	0	4	4	0	4
						8	13	83	54	7	0	6	32	34	36	55	5	1	0	0	5	4	0	4
						9	9	100	59	14	0	0	36	27	41	64	14	0	0	0	9	9	0	5
						2	10	73	64	15	0	10	38	36	43	55	6	2	0	0	3	4	0	4
						4	8	84	64	7	0	6	35	36	41	59	3	0	0	1	3	5	0	3
						5	10	80	80	5	0	5	35	20	50	65	5	0	0	5	5	5	0	5
						3	3	55	67	22	0	15	43	42	42	50	8	2	0	1	7	4	0	4
						1	2	57	74	15	0	11	40	44	41	59	5	1	0	1	7	2	0	3
						0	0	67	72	22	0	11	39	44	50	72	11	0	0	6	6	6	0	6
						18	8	42	67	10	0	16	45	42	38	42	5	1	0	0	5	3	1	3
						19	4	46	73	7	0	13	45	43	41	42	2	0	0	0	4	3	1	2
						13	0	67	67	0	0	7	47	53	33	40	0	0	0	0	13	7	0	0
						5	3	72	74	20	0	3	23	28	39	48	24	38	2	1	3	8	7	3
						3	2	76	77	17	0	3	15	29	40	60	23	42	3	0	2	5	6	2
						6	3	84	74	29	0	3	19	32	45	61	32	42	0	0	6	13	13	3
						5	7	71	75	14	0	6	28	38	48	66	12	14	1	1	4	4	2	3
						3	4	83	78	10	0	4	25	37	54	78	4	15	1	0	2	3	2	3
						3	6	91	76	15	0	0	27	39	48	85	3	15	0	0	6	9	6	6
						3	5	66	77	6	0	6	26	40	46	62	13	2	0	1	3	5	1	3
						2	4	75	81	3	0	3	28	44	38	69	8	2	0	0	2	5	1	2
						0	8	85	85	8	0	0	50	35	46	65	8	4	0	0	8	12	0	4
						4	3	68	72	14	0	6	27	47	45	59	10	3	0	1	2	4	2	2
						3	1	72	78	8	0	5	25	48	48	67	8	3	0	0	3	3	2	2
						3	3	85	82	12	0	0	35	41	53	71	15	9	0	0	9	12	3	0
						1	8	63	66	26	0	10	35	40	41	50	13	3	0	0	2	5	1	3
						0	8	73	70	24	0	8	38	39	41	59	6	3	0	0	2	5	2	3
						0	6	82	62	35	0	0	41	32	44	74	9	6	0	0	6	12	3	6

(注)図形の見方に関しては7ページを参照

区分	課題番号	課題	アンケート区分	回答者(人)	専門度(%)			我が国にとっての重要度(%)					期待される効果(%)			
					大	中	小	指数	大	中	小	なし	社会・経済発展への寄与	地球的規模の諸問題の解決	生活者ニーズへの対応	人類の知的資源の拡大
オプトエレクトロニクス	41	波長数十Åの領域で発振する軟X線レーザが実用化される。	1	104	8	30	63	51	15	58	27	0	63	3	12	40
			2	84	4	26	70	50	10	70	21	0	75	4	8	33
			専	3	100	0	0	83	67	33	0	0	100	0	0	0
	42	フォトニッククリスタルによるナノ配線を用いた高集積 CMOS LSIが開発される。	1	140	19	36	45	62	36	43	17	4	86	6	22	19
			2	115	15	41	44	61	30	55	13	2	91	2	12	13
			専	17	100	0	0	71	47	41	12	0	94	0	12	35
	43	ほとんどの室内照明用に半導体光源が普及する。	1	165	15	26	59	59	35	34	26	4	63	41	54	4
			2	143	13	24	64	63	38	42	17	4	71	31	51	2
			専	18	100	0	0	78	61	28	11	0	78	39	67	0
44	光による人工衛星間通信を利用した長距離基幹通信が実用化される。	1	137	13	29	58	52	24	39	33	5	78	23	24	13	
		2	106	10	28	61	48	14	56	23	7	86	20	17	10	
		専	11	100	0	0	66	36	55	9	0	100	36	27	0	
45	大陸間海底ケーブルなど長距離ファイバ通信に光ソリトン伝送が実用化される。	1	137	21	24	55	59	30	49	19	2	88	11	21	11	
		2	107	21	23	56	59	27	58	13	2	96	7	16	6	
		専	22	100	0	0	56	32	36	23	9	100	9	9	5	
分子・バイオ・センサエレクトロニクス	46	脳神経系の結線メカニズムが明らかになり、学習機能をもつ人工ニューラルネットワークが開発される。	1	130	5	20	75	71	47	44	9	0	67	6	42	51
			2	108	3	11	86	71	45	47	8	0	75	5	33	53
			専	3	100	0	0	58	33	33	33	0	67	0	0	0
	47	分子1個をスイッチングの基本素子とする論理、記憶用 LSIが開発される。	1	154	11	23	66	62	36	44	17	3	78	7	27	32
			2	125	7	20	73	62	31	57	10	3	80	2	20	29
			専	9	100	0	0	58	33	33	33	0	56	11	22	44
	48	血液中のATPなどをエネルギー源とする医療用マイクロマシンが開発される。	1	90	4	17	79	66	39	48	10	2	46	8	79	17
			2	65	2	12	86	67	37	57	6	0	49	5	83	12
			専	1	100	0	0	50	0	100	0	0	0	0	100	0
49	1THz～10THzの未利用電磁波帯を利用したフォトニックセンシング技術が実用化される。	1	100	11	34	55	53	16	64	18	2	59	19	31	22	
		2	77	14	30	56	55	17	67	16	0	73	19	26	16	
		専	11	100	0	0	64	27	73	0	0	73	9	36	0	
50	センサ/コントローラ/アクチュエータをマイクロマシン技術を用いて集積化した体内検査マイクロロボットなどが実用化される。	1	140	4	23	73	67	40	48	13	0	52	10	81	17	
		2	118	3	19	78	68	40	53	7	0	51	8	81	14	
		専	3	100	0	0	67	33	67	0	0	33	33	67	0	

「エレクトロニクス」分野

実現予測時期		現在、第一線にある国等(%)						我が国において政府がとるべき有効な手段等(%)								我が国において懸念される問題点(%)						
2006	2011	2016	2021	2026	2031	日本	アメリカ	EU	その他の国	わからない	人材育成と確保	産学官・分野間の連携強化	研究開発基盤の整備	研究開発資金の拡充	起業環境等の整備	関連する規制の緩和・廃止	関連する規制の強化・新設	その他	自然環境へのマイナスの影響	安全・安心へのマイナスの影響	倫理・文化・社会へのマイナスの影響	その他のマイナスの影響
		実現しない (%)	わからない (%)																			
		0	14	36	70	17	0	19	41	34	51	36	5	0	0	0	0	8	16	1	2	
		0	14	31	77	14	0	11	48	36	61	33	1	0	0	0	0	10	14	1	1	
		0	0	67	33	0	0	0	100	0	67	33	0	0	0	0	0	33	67	0	0	
		13	15	59	69	15	0	11	45	49	47	44	6	1	0	0	0	3	4	3	2	
		11	15	61	76	8	0	6	49	56	50	48	3	0	0	1	3	3	2	3		
		18	12	94	71	24	0	0	53	53	53	59	0	0	0	0	6	6	0	0		
		18	10	72	35	8	0	17	17	24	31	45	25	12	3	1	5	7	1	1		
		12	4	80	27	6	0	10	15	25	28	56	22	10	2	1	6	6	1	1		
		17	6	94	22	11	0	6	17	22	33	78	22	11	0	0	11	17	0	0		
		18	12	29	71	10	0	12	23	33	38	42	5	11	1	0	4	6	2	4		
		16	9	19	77	5	0	10	19	35	43	48	7	8	0	0	4	6	1	4		
		0	0	36	91	9	0	0	9	64	64	64	0	18	0	0	0	9	0	0		
		8	14	73	67	17	0	7	26	31	45	48	4	6	0	1	3	4	1	4		
		6	15	79	67	11	0	3	31	35	49	53	1	4	0	2	5	4	1	3		
		14	14	86	64	32	0	0	36	23	18	45	0	9	0	9	14	0	0	5		
		4	10	32	75	21	0	15	55	38	55	43	10	2	5	0	2	9	15	2		
		5	10	28	80	21	0	11	57	38	58	36	7	3	2	0	0	5	13	3		
		0	0	100	67	33	0	0	0	0	33	33	0	0	33	0	0	0	0	67	0	
		10	10	44	71	17	0	21	48	49	47	40	3	0	1	1	3	5	5	2		
		13	5	38	78	14	0	14	54	54	54	35	1	1	1	0	2	5	5	2		
		11	0	78	89	56	0	0	78	56	44	22	0	0	0	0	0	22	0	0		
		3	11	40	69	23	0	21	56	48	59	42	7	7	4	1	2	22	9	1		
		6	11	43	72	15	0	15	57	49	69	40	5	6	3	2	0	26	2	3		
		0	0	0	100	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	
		5	15	43	67	21	0	18	41	33	56	44	8	5	1	0	6	11	2	2		
		1	9	53	78	21	0	8	51	43	56	38	6	3	0	0	5	9	3	3		
		0	0	64	55	36	0	9	55	27	64	36	18	0	0	0	9	9	0	9		
		2	6	51	63	16	0	15	45	52	54	54	16	13	4	0	2	24	12	1		
		2	4	63	73	15	0	11	51	58	58	59	11	10	3	0	0	28	12	0		
		0	0	67	100	67	0	0	0	67	33	33	33	33	0	0	0	33	0	0		

(注)図形の見方に関しては7ページを参照

区 分	課 題 番 号	課 題	ア ン ケ ー ト 区 分	回 答 者 (人)	専門度(%)			我が国にとって の重要度(%)				期待される効果(%)				
					大	中	小	指 数	大	中	小	な し	社 会 ・ 経 済 発 展 へ の 寄 与	地 球 的 規 模 の 諸 問 題 の 解 決	生 活 者 ニ ー ズ へ の 対 応	人 類 の 知 的 資 源 の 拡 大
分 子 ・ バ イ オ セ ン サ	51	血栓治療等のための遠隔操作可能な超小型医用デバイスが実用化される。	1	99	4	19	77	71	47	44	9	0	38	7	95	5
			2	77	0	16	84	73	49	44	7	0	43	3	96	0
			専	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
オ ・ セ ン サ	52	人間なみの感度をもつ触覚センサが実用化される。	1	110	6	17	76	55	21	60	18	1	53	5	78	9
			2	90	4	14	81	56	18	70	12	0	58	2	84	2
			専	4	100	0	0	56	25	50	25	0	75	0	100	0
レ ク ト ロ ニ ク ス	53	DNA等の分子1個を同定できるバイオセンサが実用化される。	1	83	6	20	73	67	41	45	14	0	54	8	61	33
			2	63	5	13	83	65	35	53	11	0	59	8	57	24
			専	3	100	0	0	75	67	0	33	0	67	0	33	67
ク ロ ニ ク ス	54	脳神経の興奮状態が1mm程度の分解能でリアルタイムにわかる無侵襲性のCT的装置が開発される。	1	68	7	21	72	65	38	46	16	0	50	1	71	34
			2	60	5	15	80	62	30	58	12	0	50	0	72	20
			専	3	100	0	0	75	67	0	33	0	67	0	33	33
ク ロ ニ ク ス	55	非接触でLSI配線の電流測定が可能な磁気センサが実用化される。	1	146	13	33	54	52	21	47	32	0	86	0	15	12
			2	122	11	31	58	51	13	64	22	0	93	0	10	7
			専	13	100	0	0	58	23	62	15	0	92	0	15	8
ク ロ ニ ク ス	56	ビル、橋、高速道路等のヘルスマonitoringのために、歪みや加重分布を多点で計測する光ファイバ多重化センシング技術が普及する。	1	101	9	27	64	60	32	41	26	0	79	25	28	8
			2	89	6	27	67	60	30	48	22	0	82	15	35	3
			専	5	100	0	0	75	60	20	20	0	60	0	80	20
ク ロ ニ ク ス	57	抗体を利用したバイオセンサが実用化される。	1	66	6	26	68	67	40	46	14	0	56	17	71	17
			2	51	2	20	78	61	29	59	12	0	61	8	67	10
			専	1	100	0	0	25	0	0	100	0	0	0	100	100
ク ロ ニ ク ス	58	人体埋込型装置による病状の診断・治療が実用化される。	1	90	3	14	82	67	40	47	12	0	34	7	91	11
			2	73	0	12	88	62	29	59	12	0	30	1	89	7
			専	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ク ロ ニ ク ス	59	皮膚等を介さず、人間の神経に直接的に刺激を与えることのできる感覚代行センサが実用化される。	1	70	4	11	84	54	19	62	17	1	26	6	84	7
			2	53	2	8	91	52	13	71	13	2	25	2	94	6
			専	1	100	0	0	50	0	100	0	0	0	0	100	0
ク ロ ニ ク ス	60	各種センサ、マニピュレータなどを備えたマイクロマシンを遠隔操作することによる手術が実現する。	1	111	2	15	83	67	39	50	10	1	39	9	86	6
			2	88	0	14	86	64	29	66	5	0	38	3	92	1
			専	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

「エレクトロニクス」分野

実現予測時期		現在、第一線にある国等(%)						我が国において政府がとるべき有効な手段等(%)							我が国において懸念される問題点(%)					
		日本	アメリカ	EU	その他の国	わからない	人材育成と確保	産学官・分野間の連携強化	研究開発基盤の整備	研究開発資金の拡充	起業環境等の整備	関連する規制の緩和・廃止	関連する規制の強化・新設	その他	自然環境へのマイナスの影響	安全・安心へのマイナスの影響	倫理・文化・社会へのマイナスの影響	その他のマイナスの影響		
2006	2011	2016	2021	2026	2031	(%)	(%)													
		0	5	49	65	12	1	18	36	52	53	55	15	21	10	0	1	23	10	1
		1	0	57	77	10	0	8	39	57	51	61	13	18	8	0	0	27	6	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		3	2	52	62	15	0	21	40	49	45	45	12	5	2	0	2	8	9	3
		1	1	57	71	9	0	14	42	52	52	47	10	1	0	0	2	6	4	1
		0	0	100	100	25	0	0	25	25	75	100	50	0	0	0	0	0	0	0
		4	2	29	77	16	0	14	47	42	60	41	14	5	6	0	4	17	13	2
		3	3	29	87	17	0	8	44	41	68	43	13	5	6	0	3	17	14	3
		0	0	67	100	0	0	0	0	100	33	33	67	0	0	0	0	33	0	0
		3	3	51	75	19	0	15	35	53	54	59	10	6	4	0	3	12	13	1
		3	2	50	77	18	0	12	30	58	60	60	7	2	5	0	2	12	18	2
		0	0	67	67	0	0	0	0	67	100	33	0	0	0	0	0	0	33	0
		3	10	62	54	12	0	20	25	41	42	51	12	1	1	1	4	4	2	3
		1	7	79	66	11	0	12	21	45	43	58	11	0	0	0	5	3	1	2
		0	0	100	69	23	0	0	23	54	38	46	38	0	0	0	8	0	0	0
		0	5	70	54	17	0	20	20	42	38	52	18	9	7	0	3	7	3	4
		0	2	78	49	13	0	9	15	44	34	55	13	4	7	0	3	4	1	4
		0	0	80	80	60	0	0	0	80	40	40	0	20	0	0	0	0	0	20
		0	5	36	73	21	0	11	48	42	56	42	18	12	6	0	3	18	15	0
		0	4	41	82	22	0	2	39	39	61	37	16	10	4	0	4	10	14	0
		0	0	100	100	100	0	0	0	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0
		1	6	36	74	18	0	17	40	48	50	48	16	22	7	0	1	28	23	0
		3	4	34	82	15	0	11	41	52	51	49	11	22	10	0	0	30	21	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		4	13	26	60	9	0	26	40	36	46	37	10	13	7	1	1	34	31	0
		6	9	23	83	9	0	11	53	43	60	34	8	15	8	0	0	42	26	0
		0	0	0	100	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100	0	0
		0	5	47	74	14	0	15	40	51	51	48	14	20	8	0	1	22	12	1
		0	1	44	78	11	0	9	39	58	53	55	13	22	5	0	1	26	9	1
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(注)図形の見方に関しては7ページを参照

区分	課題番号	課題	アンケート区分	回答者(人)	専門度(%)			我が国にとっての重要度(%)				期待される効果(%)				
					大	中	小	指数	大	中	小	なし	社会・経済発展への寄与	地球的規模の諸問題の解決	生活者ニーズへの対応	人類の知的資源の拡大
ストリーミング・表示エレクトロニクス	61	1原子/1分子が1ビットに対応するストレージシステムが開発される。	1	173	13	34	53	68	44	42	11	4	78	6	31	32
			2	139	8	36	56	68	43	47	8	2	83	4	29	28
			専	11	100	0	0	80	73	9	9	9	82	9	55	55
	62	1平方インチ当たり1テラビットの記録が可能な磁気記憶ハードディスクが開発される。	1	142	13	25	61	75	54	39	6	1	87	4	43	13
			2	118	8	30	63	79	60	36	3	1	89	1	42	8
			専	9	100	0	0	94	89	11	0	0	78	0	78	22
	63	1平方インチ当たり1テラビット以上の光メモリが実用化される。	1	133	11	35	54	73	51	38	11	0	89	5	41	12
			2	113	11	33	57	77	57	38	5	0	89	2	40	4
			専	12	100	0	0	75	50	50	0	0	83	8	50	8
64	走査型プローブ顕微鏡の原理を用いた1平方インチ当たり1テラビット以上のメモリが実用化される。	1	143	12	34	54	58	32	39	27	3	74	1	30	20	
		2	116	9	34	57	56	24	52	21	3	84	0	26	16	
		専	10	100	0	0	65	40	40	20	0	90	0	40	20	
65	高品位印刷なみの表示(600dpi以上)が可能なA3版以上のフラットパネルディスプレイが実用化される。	1	169	9	27	64	73	50	41	9	0	80	1	64	9	
		2	144	7	24	69	77	54	44	2	0	87	1	62	2	
		専	10	100	0	0	95	90	10	0	0	80	0	80	0	
66	めがねを用いなくても見ることができ、かつ、視聴者が姿勢を変えるなどの自然な動きをしても立体像が変形しない立体動画表示装置が開発される。	1	134	7	22	70	57	27	50	22	1	54	1	75	13	
		2	117	8	20	73	56	22	59	18	1	58	0	79	5	
		専	9	100	0	0	86	78	11	11	0	67	0	67	11	
67	有機材料を用いた、発光型で、例えば壁一面を占めるほどの超大型ディスプレイが実用化される。	1	154	5	29	66	61	32	47	21	0	68	3	62	8	
		2	135	5	25	70	62	30	58	12	0	73	1	70	2	
		専	7	100	0	0	64	29	71	0	0	86	0	86	0	
68	ロール型(丸めることができる)ディスプレイが実用化される。	1	160	8	27	66	61	32	48	19	1	63	3	71	7	
		2	140	7	24	69	61	27	63	10	0	66	3	74	2	
		専	10	100	0	0	80	60	40	0	0	70	0	80	0	
69	いつでもどこでも映画を楽しめるような、メガネの中にはいる超小型ファイル装置が実用化される。	1	147	9	19	72	53	23	47	26	4	56	1	68	7	
		2	122	8	14	78	52	17	60	22	2	56	0	78	3	
		専	10	100	0	0	75	50	50	0	0	70	0	70	0	

「エレクトロニクス」分野

実現予測時期		現在、第一線にある国等(%)						我が国において政府がとるべき有効な手段等(%)								我が国において懸念される問題点(%)								
2006	2011	2016	2021	2026	2031	日本	アメリカ	EU	その他の国	わからない	人材育成と確保	産学官・分野間の連携強化	研究開発基盤の整備	研究開発資金の拡充	起業環境等の整備	関連する規制の緩和・廃止	関連する規制の強化・新設	その他	自然環境へのマイナスの影響	安全・安心へのマイナスの影響	倫理・文化・社会へのマイナスの影響	その他のマイナスの影響		
						実現しない (%)	わからない (%)																	
						17	8	45	70	14	0	14	49	46	55	47	9	1	0	1	3	4	2	3
						16	6	45	82	13	1	8	55	49	65	45	6	1	0	0	3	3	1	2
						18	9	82	82	27	0	0	64	64	82	45	18	9	0	0	9	9	0	0
						4	6	71	69	5	0	8	31	42	49	65	10	1	0	1	3	3	2	3
						2	5	74	78	2	0	4	30	43	47	68	4	0	0	0	3	2	2	3
						0	0	100	78	0	0	0	56	78	67	56	33	0	0	0	0	0	0	0
						8	6	74	64	12	1	8	32	43	56	59	8	0	0	1	2	6	2	2
						6	4	81	65	6	0	5	30	43	62	60	3	0	0	0	3	4	2	3
						0	8	92	83	0	0	0	42	33	58	58	17	0	0	0	8	17	0	0
						15	8	59	72	19	1	8	37	46	47	52	8	1	0	1	1	4	1	2
						18	5	65	81	10	0	5	34	44	52	54	3	0	0	0	2	3	1	2
						10	0	100	100	50	0	0	60	60	80	80	10	0	0	0	0	0	0	0
						1	4	89	34	5	2	5	26	32	38	64	12	1	0	1	3	2	2	2
						1	3	94	28	3	2	3	17	31	38	73	8	0	0	1	3	1	1	2
						0	0	100	50	0	10	0	10	70	40	80	20	0	0	0	0	0	0	0
						10	5	66	59	8	0	16	35	44	40	54	16	4	0	1	2	7	4	2
						12	6	71	59	4	0	13	32	43	45	60	10	3	0	1	3	6	5	2
						11	11	89	33	11	0	0	56	67	56	56	0	11	0	0	0	11	11	0
						3	8	71	49	12	0	12	23	38	40	61	14	0	1	1	5	4	4	1
						1	6	82	44	10	0	7	18	34	46	66	8	0	0	1	4	2	1	2
						0	0	100	71	43	0	0	14	57	57	71	0	0	0	0	0	0	0	0
						4	4	67	46	9	0	15	27	33	44	63	13	1	1	1	4	3	1	1
						1	4	81	46	4	0	8	22	34	49	66	8	1	0	1	4	2	1	2
						0	10	90	60	10	0	0	20	50	40	60	0	0	0	0	10	0	0	0
						7	5	58	55	5	0	19	22	25	37	52	21	5	1	1	2	10	8	1
						6	6	75	62	2	0	11	19	33	47	57	16	2	1	1	2	9	9	2
						10	0	100	70	10	0	0	20	50	80	60	0	0	0	0	0	0	0	0

(注)図形の見方に関しては7ページを参照

### 3.13. 回答者コメント例(課題別)

マイクロエレクトロニクス	01 単原子・単分子を操作する技術がデバイス作製や遺伝子操作の技術として実用化される。 ○デバイス作製と遺伝子操作は、手法・実用化時期等が異なると思うので問題は別にすべき。○人類の知的資源の拡大である。コストに見合う領域は少なく、国としてのサポートが必要。○単原子、単分子操作のデバイス作りは無理。遺伝子操作には効果あり。○STMでの原子操作はすでに可能。部分的には実用化されている。この技術を用いて有用な製品が生産されるのはずっと先のことであろう。○遺伝子操作の技術に関しては環境、安全性、倫理的な面で要注意(ガイドライン作り必要)。○研究レベルではすでに可能性が実証されているが、スピード、コストの面で実用化は遠い。遺伝子操作は副作用が心配。
	02 量子コンピューティング等による、超高速計算やセキュリティ機能に応用できる量子位相デバイスが実用化される。 ○自然科学として取り組むべき課題。○暗号に特に重要。極低温超大型CPUで実用化あるかもしれない。○集積度の非常に低い、数素子のデバイスは実用化される。○量子暗号・通信への応用と実用化は近い将来に可能(~2010年)と思われるが、有用な量子計算には時間がかかると考えられる。○プロトタイプの開発は比較的早いかもしれないが実用化はかなり先になる。○量子通信への展望も。
	03 単電子効果を用いたLSIが実用化される。 ○単電子を用いる必要性や、単電子による性能向上の可能性がない。○極低温では可能。しかし、室温の統計力学の世界では、S/N比1となって誤動作しうる。○単電子効果を用いた量子情報処理へと更に発展する可能性がある。○画像処理等、限定的分野での実用化が期待できる。○単電子にこだわる必要ない。要はエネルギーが小さくて正しく論理・推論処理するキーデバイス。
	04 単細胞程度の生命体の外からの刺激に対する反応などのメカニズムが解明され、センサとしての利用が普及する。 ○見る、聞く、しゃべる、触るは無機物で可。味覚、においてはバイオセンサ必要。
	05 DNAの4種類の塩基の組み合わせによるデータの複製・分割・記憶システムを模倣した、自己増殖・修復機能をもつDNAメモリが開発される。 ○DNAではない分子が使われる。○ナノテクのテーマの一つ。実現化は早まる?
	06 10nmの最小寸法を持つLSIパターンを、量産加工できる技術が実用化される。 ○微細加工技術の振興には基盤整備と開発助成の両方が必要。○開発コストの増大を回避するために、将来技術の見極めには産学官の協同不可欠だと考える。○現行の延長上の2次元パターン寸法では、困難かもしれない。3次元パター的なアプローチになるかもしれない。○10nm金属配線の表面を完全弾性反射面にする技術不可欠(=配線抵抗小さくする)。量子雑音等に支配されない生産技術。○当面は、この技術を目指した研究開発体制が必要。○技術としては早期に出来るが、それを使うものに対する研究の方が重要。
	07 1チップ当たり256Gビット以上の記憶容量を持つ超LSIが実用化される。 ○アメリカ、韓国に対抗するためには、基盤技術の産官協同開発により、開発コスト低減が必須。○4年で4倍(従来は3年で4倍)。64G:2011年-50nm。256G:2015年-30nm。○3次元LSI技術(日本発)を実用化すれば十分可能。○当面は、この技術を目指した研究開発体制が必要。○コスト的に意味があるのだろうか? ○LSIの分野においては、官学は実力不足。産官学協同を無理に進めると逆効果。○日本は、半導体メーカーが多数ありすぎ。統合が必要。○大学が寄与できるよう、別途基盤整備が必要。
	08 直径600mmのウェハの使用が普及する。 ○経済効果が十分に得られない場合は採用されない可能性もある。○液晶では、この程度の大きさのものは半導体製造技術により作られている。○単にウェハ径の増大ではなく、例えば、テープ状Siを用いた連続プロセスなどの新製造法が生まれる。○果たしてこのような大口径ウェハのメリットがあるのか疑問。○450mmが2014年、600mmは2028年か? 現状300mm。○LSI製造工程全体(含設備投資)のトータルコストが普及時間を決めよう! ○微細化、3次元化によりチップシュリンクするため緊急度は低い。○LCD技術と融合し、SOI技術として展開することも考えられる。
	09 100万接合以上を集積した高温超電導LSIが開発される。 ○超電導LSIには原理的な制約があり、実現は困難。他面への応用を考えるべき。○Si/化合物LSIの技術飽和の度合いにより、開発時期は大きく前後しよう。○高温超電導材料とLSI基板技術。コンタクト抵抗(接触抵抗)がネック。○開発はできるが、性能的優位がなく実用にはならない。○材料研究が先。応用先は限られよう。○電気エネルギーの伝送、蓄積等への応用がより重要と考える。
	10 不揮発性で書き換え可能な100Gビット以上のランダムアクセス半導体メモリが実用化される。 ○純粋に半導体だけの不揮発メモリで、このような大容量は不可能。○強誘電体メモリ、Flashで実用化される。○当面は、この技術を目指した研究開発体制が必要。○書換回数向上、動作時の低消費電力化も不可欠。○FeRAMは日本がリード。MRAMは米国がリード。○OPC、デジタル家電の機能超拡大。
	11 クロック周波数50GHz以上のLSIが実用化される。 ○クロック周波数を上げずに演算を高速化する方法の提案が出てくる。○半導体では不可能。超電導デバイスならば可能性有り。○クロックを速くするだけの研究は意味がない。EDAツールやマイクロプロセッサアーキテクチャ等総合的な研究をすべき。○このような周波数を取り扱うための教育基盤整備。○50GHzクロック→20psecパルス動作→LSIの配線での減衰が激しく、LSIにならない。○クロックの単なる高速化は実装等のコストが高くなるため、むやみな高速化よりもアーキテクチャ面での工夫が主流になると考える。○技術的に自然科学の原理をこえる所を狙っている感じ。クロックupの努力より全体的処理スループットを向上することが大切。
	12 DC~1000GHz程度の広帯域固体増幅器が実用化される。 ○超高周波技術は圧倒的に遅れている。重点をおくべし。○単に増幅器の広帯域化だけではインパクトが少ない。1000Gの帯域をどう使うかというアプリケーションの研究が必要。○クロックの単なる高速化は実装等のコストが高くなるため、むやみな高速化よりもアーキテクチャ面での工夫が主流になると考える。○計測応用でニーズがあれば実現可能。○無線、伝送分野で威力。現在のRFampの延長。
	13 TOPS(Tera Operations Per Second)級のマイクロプロセッサが実用化される。 ○並列動作。○現状のノイマン流の処理では不可能。無駄な演算を省略する大枠の判断機能不可欠。○クロックの単なる高速化は実装等のコストが高くなるため、むやみな高速化よりもアーキテクチャ面での工夫が主流になると考える。○現在のマイクロプロセッサとは構成が異なる可能性も高い。Operationの定義にもよる。○従来のアプローチでない所で実現。

マイ ク ロ エ レ ク ト ロ ニ ク ス	14 数百 GHz 以上のクロック周波数で動作する超電導 LSI が実用化される。 ○CMDS ベース超並列 LSI と比較して効果が明確にならない場合は採用されない可能性がある。○超電導 LSI でも 100GHz あたりが実用化される。○民生用では実用化するドライバーがない。○数百 GHz の周波数まで超電導を保つ材料はまずできない。○J/J の応答がいくら速くともメディアディスプレイ (配線長遅延) があるため不可能。○冷却が必要となるので試作機まで。	
	15 10nm 以下の分解能をもつ X 線顕微鏡が開発される。 ○X 線レーザー。○すでに 25nm が達成されており、Zone Plate の技術革新により数年以内に確実に実現する。○X 線光学系確立に必要なミラー等の部品、材料その版造技術を開発すれば可能。○現在 100nm。	
	16 無線通信システム用受動回路に高温超電導材料が普及する。 ○室温超電導の探索。○高温の意味は？室温では難しいかも。○基地向用途としての普及は近い。携帯子機には利用できない。○低雑音化、低電化のため固定局では可能。	
	17 実時間で論理機能を変更する 100M ゲート規模の LSI が実用化される。 ○高速低消費電力揮発性メモリに対してのブレークスルーが必要。○SRAM による FPGA がこれに該当。○デジタルネットワーク情報家電分野の顧客の好みの変化激しい。機能可変ハードウェアが大本命。○今後、アイデアの集積が必要。○日本でも米国並の技術開発が必要。	
	18 ソフトウェアでセンター周波数、バンド巾、変調方式、誤り訂正方式などの仕様変更可能なカードサイズのソフトウェア無線機が実用化される。 ○2GHz 帯では意外と早いだろう。○非常に大事な技術。負けてはならない。○Software radio への要求は高い。	
	19 10cm 以下の分解能を持つ GPS などによる自動車の自動運転システムが実用化される。 ○自動車専用道で可能になる。○10cm が本当に必要かどうか判らない？50cm あれば十分？○試作はされても、実用化は盲人用など一部に限定される。○位置決め精度と速度制御は排反の関係。○GPS は都市部では不利。別手段が必要。○10cm が妥当かは分からないが、技術的には出来そうな技術。無線の帯域の割当て等が key。	
	20 ギガビット級の記憶能力を持ったニューロン・チップが実用化される。 ○配線技術へのブレークスルーが必要。○試作どまり。	
	21 500°C の高温環境下で使用できる耐高温論理集積回路が実用化される。 ○SiC、GaN で実用化。○500°C の仕様が必要なマーケットがどれだけあるかが実現時期を決める。○結晶材料の開発が急務。○何に使うのかが不明→これを考える起業者のアイデア必要。500°C という材料が絡んできて長期的になりそう。○用途は限られる。	
	22 性能 10GOPS (Giga Operations Per Second) 程度でかつ消費電力 10 ミリワット以下のプロセッサ LSI が開発される。 ○アーキテクチャ、スマートパワーコントロール。○低消費電力素子研究に対する基盤整備が必要。○半導体で 10mW の消費電力を達成するのは不可能。超電導等の利用が必要。○LSI の上流設計から下流設計に至る、あらゆる技術の進歩と融合が必要。○メインフレーム～PC まで CPU の概念が変わろう。	
	23 人間の感情を理解・共有できる「人工知能チップ」が開発される。 ○脳研究の基盤整備が必要。○理解、共有の程度によるが、不要かもしれない。むしろペットロボットのように人の方が感情移入をおこすものの方が役に立つと思われる。○人の感情とは何かの解明がまず必要である。また、「人工知能チップ」にそれを求められることはないであろう。○高齢時代、植物状態の人の感情計測などに有用だろう。○Software として実現される。「感情」の定義などを明確にする必要がある。利用範囲の選定も慎重にすべきである。	
	24 カードサイズの自動通訳システム (音声入・出力) が実用化される。 ○英語文化圏でない日本では、コミュニケーションの観点から必須。○聞く、話すのセンサを積層一体化した3次元知的プロセッサで可。○お互いに言語体系に近い欧州 (米) が圧倒的に有利。○起業との関係でパワーを引き出すことが必要。規制で利用できなくならないように。○memory 容量と DSP 速度の勝負。認識アルゴリズムはたいして進展なし。	
	25 世界中で使用できる 100Mbps 程度のマルチメディア無線携帯端末が普及する。 ○実用化は早い普及には時間がかかるだろう。○セキュリティ技術の必要性。またコンテンツ次第で普及の状況は変わると思う。○400Mbps LAN 無線端末はすでにある。ニーズの問題。○電磁波の人体に与える影響を解明する必要がある。○“世界中で使える”と“100Mbps”の両立は結構きつそう。○有限周波数帯域の効率的活用のための規制必要。	
	26 家庭に一台、掃除、洗濯などを行う「お手伝いロボット」が普及する。 ○高齢者福祉の点から望まれる。○老人向等に実用化は早いと思う。ベンチャー向き。○技術的にはもっと早く可能になると思うが、普及は家事意識の変化と値段とのかね合いによって決まる。○人間の五感に担当するセンサ積層一体化した3次元プロセッサと知的ソフトウェアの組み合わせ。○危険のないシステムの構築がマーケット創成の鍵。	
	27 盲人に対するナビゲーション、医療用カード、物流用 TAG 等に使用するバッテリーレスで非接触型のスマート IC カードや RF-ID (Radio Frequency Identification) TAG が普及する。 ○バッテリーレスのほうがよいが、それにこだわらなくてもよいと思う (ミリ波で電力供給を考えているのだろうが、その必要はあるか?)。○盲人に限らず高齢者など社会的弱者に対する支援装置はこれからの日本にとって不可欠である。○社会インフラ整備と標準化のため、非営利目的の機関・組織のリーダーシップが求められる。○ケイタイが代用する。○盲人と限定するのは変。もっと波及効果・応用を考えればあるはず。○物流革命をおこす可能性がある。○ITS、運送、物流面で普及。	
	28 いつでも、どこでも、誰でも情報がやりとりできる、ワンチップのユビキタス (Ubiquitous) コンピュータが開発される。 ○セキュリティ、倫理観の確立が必要。○ユビキタスよりもウェアラブルなパーソナルコンピュータが望ましい。○プライバシーの保護に関する規制が必要。○すでにある意味で開発されていると言ってよい。社会の倫理規定とのバランスも重要。	
	29 C 言語のような高級言語で記述されたシステムレベルの要求仕様を与えると、数百 K ゲート以上の高性能な LSI を完全に自動で設計する技術が実用化される。 ○比較的近い将来に実現されると思う。○LSI 設計の生産性向上に対する要求は高い。実現早かろう。	
	30 LSI 中の 10nm 以下の領域の信号を 1 ピコ秒の時間分解能で検出する装置が実用化される。 ○システムオンチップ (SOC) の開発にとって重要な装置である。○計測技術は basic の basic なので大切。このような技術こそ日本でやるべき。	
	オ プ ト エ レ ク ト ニ ク ス	31 紫外半導体レーザーが実用化される。 ○実用化は数年後に可。○350nm まではずぐに開発。10 年以内。○超 G ビット (ゲート) の LSI には必須の技術。ここに break through ないと前の設問も出来ない。
		32 外部安定化回路無しで波長の温度依存度 $10^{-7}/\text{deg}$ (水晶振動子程度) の半導体レーザーが実用化される。 ○代替技術 (外は部品) で十分か？○DWDM への適用。

オ ブ ト エ レ ク ト ロ ニ ク ス	33 自然放出の制御等による、しきい値電流が動作電流の $10^{-4}$ 以下の半導体レーザが開発される。 ○すでに一部検証。○材料にかかわるものなので、長期的。○Ith は相当下がってきてはいるが 1/10000 までは当分ムリ。	
	34 固体有機材料による、例えばレーザや光スイッチなどのデバイスが実用化される。 ○有機系の LD 等への実用化は劣化耐策に目途がたっていない。実用は困難。○光 SW は実用が早い、すぐに非有機材料の本命が出て、すぐにこれを追い越す。	
	35 光集積回路を併用した POPS(Peta Operations Per Second)級のマイクロプロセッサが開発される。 ○電子回路の発達で光集積回路の出番はなくなる。 ○光である限り高集積化(小型)は、電子に比べ困難(波長の比が違う)なため特殊用途に限られる。○アナログ処理(相関)などならともかく、デジタル演算では光 IC を導入したとしても、飛躍的に高速化されるとは思えない。	
	36 10Gbps の光加入者系システムが家庭に普及する。 ○伝送コストの下がっている北米から普及と思われる。○現時点でも技術的には実現します。ニーズの高まりがポイントです。 ○10Gbps は膨大すぎて家庭では手におえない。○IT 革命が実生活に普及する最も鍵になる技術及びインフラ。○多 ch の動画をサポートするにしても、10Gb/s ほどの情報は家庭で不要。Gb/s 以下で充分。	
	37 100Gbps の信号 1000 チャンネルを多重化して 1 本の光ファイバで伝送できる光多重通信装置が実用化される。 ○5~10 年後、可(検証は済)。○40Gbps、200 多重程度なら可能。○光の周波数がたかだか 200THz-1000THz であるから帯域 100THz は難しいのではない。○ファイバの低分散化が鍵。○光アンプの波長域拡大が必要。○WDM のみを考えると本質的限界に極めて近い。○光ファイバの zero 分散波長域、光 amp の広帯域化等課題は大きい、実用化見とおしは早くなる。 ○1 本のファイバで 100Tbit/s の伝送は理論上実現不可能と思われる。	
	38 例えば光インターコネクションなどに利用される、1000×1000 程度の面発光レーザアレイが実用化される。 ○パワー、サイズから見て実用的になるとは思えない。	
	39 チップ間光インターコネクション技術が実用化される。 ○効果、ニーズ小で実用化は進展しない。○信号エネルギー形態を変えるという非効率さのために初期のもくろみほどの効果は期待できない。	
	40 光通信、光交換の分野において、信号光の波長を異なる波長に直接変換する技術が実用化される。 ○速度と集積度が伴わないと LSI に負けて、やってもビジネスに育たない。○Tunable 化は光屋の悲願。通信網のフォトニック化に向かって、開発が加速される。	
	41 波長数十 Å の領域で発振する軟 X 線レーザが実用化される。 ○自由電子レーザは基本的に実現可能。	
	42 フォトニッククリスタルによるナノ配線を用いた高集積 CMOSLSI が開発される。 ○フォトニック結晶を CMOS 配線に応用というのはとびすぎていると思う。光回路の LSI 化にフォトニック結晶配線が使われるのだと思う。これは重要。	
	43 ほとんどの室内照明用に半導体光源が普及する。 ○省エネ、寿命で積極的に推進しすぎ、民間に対するインセンティブが必要。○コスト的に難しい。省エネの要求や水銀に対する規制が強まればあるいは普及するかも。○日米それぞれがかなり力を入れているので近いうちに実現可能。○NEDO の試みなどが突破口。	
	44 光による人工衛星間通信を利用した長距離基幹通信が実用化される。 ○海底だけに頼れない時代がいつかくる。○他の方式(光ファイバ海底網等)との競争で実用化されないように思う。○技術的には現在でも可能。システムニーズがあるか。○技術的に困難なわりにはメリットが小さい。○beam tracking など、さほど大きな技術的障害はない。○地上~衛星間には光は無理ではないか。	
	45 大陸間海底ケーブルなど長距離ファイバ通信に光ソリトン伝送が実用化される。 ○トロール船によるケーブル損傷等のトラブルは発生。○広義のソリトンで実用化はありうる。○基礎研究要。○他の技術で代用できそう。○ソリトンはあまりにも sophisticated な技術なので、かつての LHM のように、特殊分野に限られよう。実用化はしても普及はしまい。	
	分 子 ・ バ イ オ ・ セ ン サ エ レ ク ト ロ ニ ク ス	46 脳神経系の結線メカニズムが明らかになり、学習機能をもつ人工ニューラルネットワークが開発される。 ○開発は可能だが、役に立つまでには更に時間がかかる。
		47 分子 1 個をスイッチングの基本素子とする論理、記憶用 LSI が開発される。 ○半導体技術が限界に達した後、この分野の技術が必須になると思う。○開発(小規模・低速)されるが実用化はされない。 ○ナノラックのテーマとして研究が活性化される。○Memory から実用化。
48 血液中の ATP などをエネルギー源とする医療用マイクロマシンが開発される。 ○マイクロ加工、材料ナノラック、サバイオロジーの連携が不可欠。○体外装置型		
49 1THz~10THz の未利用電磁波帯を利用したフォトニックセンシング技術が実用化される。 ○何をセンシングするのかを明らかにする必要がある。		
50 センサ/コントローラ/アクチュエータをマイクロマシン技術を用いて集積化した体内検査マイクロロボットなどが実用化される。 ○技術的には 2010 までに実現可能と思われる。但し、社会的(例えば厚生省や FDA)制約への対応で 10 年程度の遅れはありうる。○技術的制約よりも社会的制約により実用化時期は左右されると思われる。技術的には 2005 年までに一部の装置は市販可能となるであろう。○技術的には早めに確立すると思うが治験など安全性の確認に時間がかかりそう。○ファイバースコープ、胃カメラの元祖たる日本のお家芸。実用化は早い。		
51 血栓治療等のための遠隔操作可能な超小型医用デバイスが実用化される。 ○開発時の規制緩和と実用化時の規制強化が必要。○原理的には可能性あるが安全性等からみて実用になるかどうか不明。		
52 人間なみの感度をもつ触覚センサが実用化される。 ○エレクトロニクスとバイオテクノロジーの融合技術研究に対する基盤整備が必要。○圧電体薄膜と知的プロセッサの積層一体化。○技術より用途開発がネックとなる。○表記レベルのセンサは現時点でも実現可能であるが、用途開発が進まなければ実用化フェーズに入れない。○定義があいまい。凹凸測定や力測定では AFM の方が既に良い。“指先サイズ程度の”等付加すべき。○原理的に可能だがコスト、機能、信頼性等の点で実用化可能かどうか不明。		
53 DNA 等の分子 1 個を同定できるバイオセンサが開発される。 ○エレクトロニクスとバイオテクノロジーの融合技術研究に対する基盤整備が必要。○ナノラックとの組み合わせで実用化は早まる。ベンチャーのテーマ。		

分子・バイオ・センサエレクトロニクス	55 非接触でLSI配線の電流測定が可能な磁気センサが実用化される。 ○現在、NECで開発中。プリント基板配線では既に実用化。○LSIの評価・解析に極めて有用な技術で今後益々必要性が高まる。
	56 ビル、橋、高速道路等のヘルスマニタリングのために、歪みや加重分布を多点で計測する光ファイバ多重化センシング技術が普及する。 ○東京または東海大地震が発生した場合はその後急速に(5年程度)で普及すると思われる。○完成した工事における検査手段として普及するはず。○従来のラマン散乱センシングの延長上で実用化は早い。
	57 抗体を利用したバイオセンサが実用化される。 ○既に使い捨てのものは、妊娠の診断などで実用化されている。
	58 人体埋込型装置による病状の診断・治療が実用化される。 ○実用化される可能性大だが、人体への影響等不明。○診断、モニタリングのみ可能(遠隔でも可能)。治療はもっと後になる(マイクロマシン等での)。
	59 皮膚等を介さず、人間の神経に直接的に刺激を与えることのできる感覚代行センサが実用化される。 ○網膜を介さず脳の神経を直接刺激して視覚を代行するものは米国で実用化寸前である。
ストレージ・表示エレクトロニクス	61 1原子/1分子が1ビットに対応するストレージシステムが開発される。 ○量子ビット(qubit)ストレージシステムへ更に発展させるべきである。すると、量子暗号、計算、通信に不可欠なデバイスとなる。 ○1原子1分子までいるのかという議論はあるだろう?○半導体技術以後に必要な技術。○ナノテクノロジー研究が活性化される。○理想状態での技術ができて、生活環境で実用にたえる技術は不可能であろう。○原理的可能性は実証されたもののコスト・スピードの点で実用化への課題は大きい。
	62 1平方インチ当たり1テラビットの記録が可能な磁気記憶ハードディスクが開発される。 ○テラビットまではいくと思うがそれ以上は困難か。○原理的に(熱中ゆらぎ等)無理かもしれない。
	63 1平方インチ当たり1テラビット以上の光メモリが実用化される。 ○波長多重がどこまでできるかが課題。○研究段階ではあと5年で可能かも。○面記録方式の光メモリは存在意義を失うだろう。 ○磁気ディスク先行によりインパクトは小さくなる。
	64 走査型プローブ顕微鏡の原理を用いた1平方インチ当たり1テラビット以上のメモリが実用化される。 ○走査型プローブ顕微鏡である必要性はないかもしれない。○実現、実証はされると思うが、他方式とのk/w速度の競争にやぶれ、例えば秘密情報の保存など限定された使われ方になると思われる。
	65 高品位印刷なみの表示(600dpi以上)が可能なA3版以上のフラットパネルディスプレイが実用化される。 ○電子ペーパーとして、カラー150dpi程度で十分。○現在の紙の消費が低減でき国にも優しいので、マーケットも大きい。 ○長時間利用で視覚系への悪影響が心配。○表示パネルとしての精細度の議論が必要。600dpiも要るのか?○静止画であれば今でも技術的に可能と思うがコストが問題。動画の場合は処理能力がさらに問題。○安定的な量産はまだ大変か。
	66 めがねを用いないで見ることができ、かつ、視聴者が姿勢を変えるなどの自然な動きをしても立体像が変形しない立体動画表示装置が開発される。 ○長時間利用で視覚系への悪影響が心配。○技術的に極めて難しい一方、必要性小。○立体視聴に係る医学的影響についての研究も重要。○静止画・擬似動画ならホログラフィー技術によりすでに実現。○TV程度の動画像を想定した。
	67 有機材料を用いた、発光型で、例えば壁一面を占めるほどの超大型ディスプレイが実用化される。 ○有機・感光・発光等の安全性は要check。○貼合せ型?○最近青色LEDが半導体で出来るようになり、強度から考えて半導体が優先される。○現状の延長でない技術の芽に期待。
	68 ロール型(丸めることができる)ディスプレイが実用化される。 ○有機・感光・発光等の安全性は要check。○LCDやELとは異なる新たな原理に基づくディスプレイ研究の基盤整備が必要。 ○現状の延長でない技術の芽に期待。
	69 いつでもどこでも映画を楽しめるような、メガネの中にはいる超小型ファイル装置が実用化される。 ○半導体メモリで可能。○映像情報はファイルよりも高速通信により供給されるだろう。○この様なニーズがあるとは考えられない。ポータブルな小型軽量装置で充分。

### 3.14. 未来技術年表

実現予測時期 (年)	課題
2010	31 紫外半導体レーザーが実用化される。
2011	27 盲人に対するナビゲーション、医療用カード、物流用 TAG 等に使用するバッテリーレスで非接触型のスマート IC カードや RF-ID(Radio Frequency Identification) TAG が普及する。 29 C 言語のような高級言語で記述されたシステムレベルの要求仕様を与えると、数百 K ゲート以上の高性能な LSI を完全に自動で設計する技術が実用化される。
2012	18 ソフトウェアでセンター周波数、バンド巾、変調方式、誤り訂正方式などの仕様変更可能なカードサイズのソフトウェア無線機が実用化される。 57 抗体を利用したバイオセンサが実用化される。
2013	25 世界中で使用できる 100Mbps 程度のマルチメディア無線携帯端末が普及する。 39 チップ間光インターコネクション技術が実用化される。 56 ビル、橋、高速道路等のヘルスマonitoringのために、歪みや加重分布を多点で計測する光ファイバ多重化センシング技術が普及する。 65 高品位印刷なみの表示(600dpi 以上)が可能な A3 版以上のフラットパネルディスプレイが実用化される。
2014	17 実時間で論理機能を変更する 100M ゲート規模の LSI が実用化される。 19 10cm 以下の分解能を持つ GPS などによる自動車の自動運転システムが実用化される。 28 いつでも、どこでも、誰とでも情報がやりとりできる、 <u>ワンチップのコビキタス(Ubiquitous)コンピュータが開発される。</u> 32 外部安定化回路無しで波長の温度依存度 $10^{-7}/\text{deg}$ (水晶振動子程度)の半導体レーザーが実用化される。 33 自然放出の制御等による、しきい値電流が動作電流の $10^{-4}$ 以下の半導体レーザーが開発される。 34 固体有機材料による、例えばレーザーや光スイッチなどのデバイスが実用化される。 36 10Gbps の光加入者系システムが家庭に普及する。 40 光通信、光交換の分野において、信号光の波長を異なる波長に直接変換する技術が実用化される。 55 非接触で LSI 配線の電流測定が可能な磁気センサが実用化される。 68 ロール型(丸めることができる)ディスプレイが実用化される。
2015	01 単原子・単分子を操作する技術がデバイス作製や遺伝子操作の技術として実用化される。 06 10nm の最小寸法を持つ LSI パターンを、 <u>量産加工</u> できる技術が実用化される。 07 1 チップ当たり 256G ビット以上の記憶容量を持つ超 LSI が実用化される。 11 クロック周波数 50GHz 以上の LSI が実用化される。 24 カードサイズの自動通訳システム(音声入・出力)が実用化される。 30 LSI 中の 10nm 以下の領域の信号を 1 ピコ秒の時間分解能で検出する装置が実用化される。 38 例えば光インターコネクションなどに利用される、 <u>1000×1000 程度の面発光レーザーアレイが実用化される。</u> 45 大陸間海底ケーブルなど長距離ファイバ通信に光ソリトン伝送が実用化される。 62 1 平方インチ当たり 1 テラビットの記録が可能な磁気記憶ハードディスクが開発される。 66 めがねを用いなくても見ることができ、かつ、視聴者が姿勢を変えるなどの自然な動きをしても立体像が変形しない立体動画表示装置が開発される。
2016	03 単電子効果を用いた LSI が実用化される。 08 直径 600mm のウェハの使用が普及する。 10 不揮発性で書き換え可能な 100G ビット以上のランダム アクセス半導体メモリが実用化される。 15 10nm 以下の分解能をもつ X 線顕微鏡が開発される。 16 無線通信システム用受動回路に高温超電導材料が普及する。 37 100Gbps の信号 1000 チャンネルを多重化して 1 本の光ファイバで伝送できる光多重通信装置が実用化される。 58 人体埋込型装置による病状の診断・治療が実用化される。 69 いつでもどこでも映画を楽しめるような、メガネの中にはいる超小型ファイル装置が実用化される。
2017	04 単細胞程度の生命体の外からの刺激に対する反応などのメカニズムが解明され、センサとしての利用が普及する。 21 500°C の高温環境下で使用できる耐高温論理集積回路が実用化される。 44 光による人工衛星間通信を利用した長距離基幹通信が実用化される。 51 血栓治療等のための遠隔操作可能な超小型医用デバイスが実用化される。 52 人間なみの感度をもつ触覚センサが実用化される。 53 DNA 等の分子 1 個を同定できるバイオセンサが実用化される。 54 脳神経の興奮状態が 1mm 程度の分解能でリアルタイムに わかる無侵襲性の CT 的装置が開発される。 60 各種センサ、マニピュレータなどを備えたマイクロマシンを遠隔操作することによる手術が実現する。 67 有機材料を用いた、発光型で、例えば壁一面を占めるほどの超大型ディスプレイが実用化される。

実現予測時期 (年)	課 題
2018	12 <u>DC～1000GHz 程度の広帯域固体増幅器が実用化される。</u> 22 <u>性能 10GOPS(Giga Operations Per Second)程度でかつ消費電力 10 ミリワット以下のプロセッサ LSI が開発される。</u> 26 <u>家庭に一台、掃除、洗濯などを行う「お手伝いロボット」が普及する。</u> 41 <u>波長数十Åの領域で発振する軟 X 線レーザが実用化される。</u> 43 <u>ほとんどの室内照明用に半導体光源が普及する。</u> 63 <u>1 平方インチ当たり 1 テラビット以上の光メモリが実用化される。</u>
2019	13 <u>TOPS(Tera Operations Per Second)級のマイクロプロセッサが実用化される。</u> 49 <u>1THz～10THz の未利用電磁波帯を利用したフォトニックセンシング技術が実用化される。</u> 59 <u>皮膚等を介さず、人間の神経に直接的に刺激を与えることのできる感覚代行センサが実用化される。</u>
2020	02 <u>量子コンピューティング等による、超高速計算やセキュリティ機能に応用できる量子位相デバイスが実用化される。</u> 42 <u>フォトニッククリスタルによるナノ配線を用いた高集積 CMOS LSI が開発される。</u> 46 <u>脳神経系の結線メカニズムが明らかになり、学習機能をもつ人工ニューラルネットワークが開発される。</u> 50 <u>センサ/コントローラ/アクチュエータをマイクロマシン技術を用いて集積化した体内検査マイクロロボットなどが実用化される。</u>
2021	09 <u>100 万接合以上を集積した高温超電導 LSI が開発される。</u> 64 <u>走査型プローブ顕微鏡の原理を用いた 1 平方インチ当たり 1 テラビット以上のメモリが実用化される。</u>
2022	20 <u>ギガビット級の記憶能力を持ったニューロン・チップが実用化される。</u> 35 <u>光集積回路を併用した POPS(Peta Operations Per Second)級のマイクロプロセッサが開発される。</u> 48 <u>血液中の ATP などをエネルギー源とする医療用マイクロマシンが開発される。</u>
2023	61 <u>1 原子/1 分子が 1 ビットに対応するストレージシステムが開発される。</u> 05 <u>DNA の 4 種類の塩基の組み合わせによるデータの複製・分割・記憶システムを模倣した、自己増殖・修復機能をもつ DNA メモリが開発される。</u> 47 <u>分子 1 個をスイッチングの 基本素子とする論理、記憶用 LSI が開発される。</u>
2025	14 <u>数百 GHz 以上のクロック周波数で動作する超電導 LSI が実用化される。</u>
2026	23 <u>人間の感情を理解・共有できる「人工知能チップ」が開発される。</u>