

電子・通信工学研究連絡委員会報告

—電子工学の今後の研究領域について—

平成3年6月25日

日本学術会議

電子・通信工学研究連絡委員会

この報告は、第14期日本学術会議電子・通信工学研究連絡委員会の審議結果を取りまとめて発表するものである。

- 委員長 戸田 巖 (日本電信電話株式会社常務取締役、研究開発技術本部長)
- 幹事 城水元次郎 (第5部会員、富士通株式会社専務取締役)  
高田久夫 (日本電信電話株式会社研究開発本部副部長)
- 委員 青木和男 (第5部会員、国立佐世保工業高等専門学校校長)  
猪瀬博 (第5部会員、学術情報センター所長)  
岡村絵吾 (第5部会員、東京電機大学学長)  
平山博 (第5部会員、早稲田大学理工学部教授)  
坂井利之 (第4部会員、龍谷大学理工学部教授)  
植之原道行 (日本電気株式会社特別顧問)  
大越孝敬 (東京大学先端技術センター教授)  
加藤康雄 (日本電気株式会社常務取締役)  
熊谷信昭 (大阪大学学長)  
黒川兼行 (株式会社富士通研究所常務取締役)  
末松安晴 (東京工業大学工学部教授)  
菅野卓雄 (東京大学工学部教授)  
武田康次 (株式会社日立製作所常務取締役)  
鶴島稔夫 (電子総合研究所電子デバイス部部長)  
中原恒雄 (住友電気工業株式会社副社長)  
永井淳 (株式会社東芝監査役)  
西澤潤一 (東北大学学長)

## 1. はじめに

科学技術が基本的に人類及び国際社会にプラスサムの効果をもたらす人類共通の資産であり、社会の発展にとって重要な基盤をなすという認識は広く一般化されている。特に、21世紀を間近にして、この新しい世紀に予測される様々な要請や課題を解決するために、今後も科学技術の果たす役割りは極めて大きいと考えられる。

本文は、電子工学の立場から、21世紀を望む技術の革新に対してどのような要請が生じ得るかを考察し、これに対処するための今後の研究領域と予測される研究課題について分析と提言を試みたものである。

## 2. 21世紀の社会が求める技術の革新と研究開発の方向付け

### 2.1 人間性重視の情報化社会に必要な電子工学

来るべき21世紀に求められる社会は、物質的にも精神的にも豊かで、一人一人が自己の確立をはかりつつ生きがいを持って生きていける社会であろう。そこでは、創造性に満ちた人間の知的活動が、地域や国家を超えて、全地球的規模で展開される一方、開発途上国における爆発的人口増加や、先進諸国に予測される長寿化、高齢化などを反映して、それぞれの社会構造や文化的背景を異にする多様なライフスタイルが共存することになると考えられる。

このような社会では、人間の広範な知的活動に伴う情報量が加速度的に増

大し、これに応えるために、大規模なデータベースや知識ベース、あるいは高度の情報処理機能を有するコンピュータシステム、特にヒューマンフレンドリイなシステムを実現する技術の研究開発が極めて重要な課題となる。また、これらのシステムを構成するための各種要素素子の研究及びその集積化によりシステムを実現するための総合化技術の研究が一層重要になる。

## 2.2 工学・技術と基礎科学との共鳴

産業における技術の重要性は益々増大し、これを反映して、工学・技術が急速に発展することは疑いないが、その際、基礎科学と工学・技術が接近し、相互に共鳴しあう傾向が顕著になると考えられる。基礎科学における新しい知見を技術的に利用するまでの時間間隔は著しく短縮され、工学・技術に及ぼす基礎科学の影響は現在以上に直接的なものになるであろう。同時に、工学・技術の進歩が基礎科学の新しい展開をもたらすことも期待される。

電子工学に関しては、電子はもとより、原子核まで含めた系での量子力学的現象の新しい応用の可能性を探索し、あるいは、その実現に必要な原子、分子レベルでの材料技術、核変換技術等の新たな展開をはかるなど、広範な基礎科学との相互交流が必要になるものと思われる。

## 2.3 地球環境を重視した電子工学の研究

人類の社会的活動の規模の拡大に伴い、既に、その自然環境への影響が懸念されるに至っている。これらは電子産業においても重要な問題であって、電子工学の研究に際して、資源の有効利用、リサイクリング、素子、装置等

の製造プロセスや使用時における環境破壊の防止、エネルギー消費の低減などにかかわる技術の研究が重要性を増すものと考えられる。

## 2.4 電子工学・技術の研究開発における国際協力

電子工学・技術の一層の発展をはかるためには、地球的規模での知識、技術の共有と活用について、公正で協調的な国際的合意が必要となる。特に、我が国については、これまでに築いた電子工学・技術の実績を基盤として、未踏の先端技術領域の開拓や技術的限界突破のために必要な基礎研究のリスク負担に積極的に取り組み、次世代の技術基盤の確立に先導的役割を果たすことが強く求められている。

一方、各国独自の経済、文化の発展等、それぞれの個性の確立、独自性の創造に対する意欲も今後益々増大すると考えられる。それらに寄与する電子工学・技術研究の国際協力にも積極的に対応することが望まれる。

図1に、21世紀の社会から予測される電子工学発展の趨勢と研究開発の指針をとりまとめて示した。

## 3. 電子工学分野の研究の指針

### 3.1 技術的限界への挑戦

大量情報の収集、伝達、蓄積、処理等に対応するための素子及び材料技術について、現存の素子、材料を基盤として、その高性能化への要求に応える努力を払うと共に、更に積極的に、その技術的限界への挑戦を続ける必要が

ある。

(a) 情報処理系素子

情報の超高速処理のための2値論理ゲートに使用する素子の超高速化、低消費電力化の他に多値論理素子やニューラル・ネットワーク用素子を、半導体や超伝導体を用いた電子デバイス、光波や物質の光学的性質を用いた光デバイス、あるいは両者の組合せなどで実現することが求められる。スイッチ素子の性能としては、遅延時間1 p s以下、ゲート当りの消費電力1  $\mu$  W以下が目標となろう。

(b) 情報蓄積系素子

半導体メモリとしては1 G b /チップ以上が目標とされ、磁束量子メモリや光磁気効果、ホログラフィ、あるいは光化学ホールバーニング現象を利用したメモリ、分子メモリ等の開発が、機構部品を使用しない高速、大容量メモリ開発の要請に応える研究課題となろう。

(c) 情報伝達系素子

マイクロ波からサブ・ミリ波、光波領域に及ぶ安定かつ周波数制御可能な発振素子、直接増幅素子、高安定、高速の復調素子、超広帯域、超低損失の伝送路、超高感度アンテナなどを、半導体、超伝導体、誘電体の電子、光学現象を利用して実現することが課題となろう。

(d) ヒューマン・インターフェイス系素子

画像情報の表示は高精彩、大画面で三次元的な臨場感を与えるものなどが要求され、それに必要な撮像素子、装置の研究開発が必要となろう。視聴覚以外の人間の五感情報、即ち味覚、嗅覚、触覚に対応するセンサ開発なども重要な課題となろう。

(e) 耐環境性素子

極低温、高温、放射線環境において、安定かつ信頼性が保証される素子の必要性が高まるものと考えられる。

#### (f) プロセス技術

上記の素子を実現するために、エピタキシャル成長、パターン形成及びエッチング技術、成膜技術等を含む種々の材料に対する高度なプロセス技術の研究開発が必要とされる。これらを最小パターン寸法で特徴づければ、0.1  $\mu\text{m}$  技術と総称されよう。

#### (g) 材料技術

半導体、超伝導体、誘電体等の種々の材料の高度な制御技術の確立が、上記の素子技術、プロセス技術を支える基盤となる。格子欠陥の制御された導入を可能とする技術などが新たな領域を拓くことも期待される。

### 3.2 電子工学を支える新しいシーズの探索

科学的発見あるいは発明が行われてからそれが工学・技術として応用されるまでの時間差が短縮され、また工学・技術の進展が新たな科学領域の研究を可能にするといった基礎科学と工学・技術との接近、共鳴、あるいは、本来異なる領域に属すると見なされてきた幾つかの技術の間の融合の進展などは、現在の基礎科学や工学・技術に見られる顕著な特色の一つとされている。これらは電子工学・技術とその関連分野において特に著しい。

最近、各種の計測技術、加工技術、材料技術等の飛躍的向上により、原子レベルでの物質の表面構造、メゾスコピック領域の構造中での電子の振舞い、生体内のマイクロな機能、構造等、様々な現象の確認や理論的予測の実証が行われているのはその好例である。

新しい技術のシーズは、こうした基礎科学や工学・技術の相互の接近、融合に触発されて実体を現す可能性が高い。その意味で、今後この種の接近、融合領域に於けるシーズ探索研究への期待は大きい。

電子工学に関連して、今後に開拓、発展が期待される新しい研究領域を挙げれば、以下のものである。

(a) 原子・分子レベルの材料・プロセス技術

最小構成単位に遡って物質構造を設計、制御し、あるいは合成する、原子、分子レベルの材料工学の発展が期待される。この手法が多く材料分野にわたって確立されれば、そのインパクトは極めて大きい。

(b) 量子力学的効果の利用

量子力学的寸法効果や協力現象、電子の位相相関等を利用した新しい技術の体系化を期待することができる。高温超伝導を含むこの現象の発現機構の一般的解明とそれに基づく広範な応用技術の展開が期待される。また、人工的微小構造によってもたらされる量子化現象等を利用した新しいデバイス機能の構成やそのシステム応用への期待も大きい。これにより、極限構造にかかわる物性物理の新分野の開拓も予測される。

(c) バイオミメティック機能の追求

生体の情報処理機構の解明とこれに学ぶ高度な知的機能の工学的実現にかかわる技術分野の発展が期待される。生物物理学をはじめとする多くの基礎科学分野との交流、融合が重要な研究領域と言えよう。

これらはいずれも、次代の電子・情報系科学技術発展のためのシーズを発掘するという観点から大きな可能性を秘めた研究領域であるとともに、人類共通の知的資産を生み出すために、我が国の基礎的貢献が期待される研究分野である。関連する基礎科学分野との協調をはかりながら、長期的視点に立



って着実に研究開発を推進することが望まれる。

### 3.3 新しい総合化技術の確立

前節では、新しい要素技術の研究開発に係わるシーズ指向型の、いわばボトム・アップ的研究展開の側面について述べた。

ところで、今後研究開発されるこれらの要素技術と、今日までに確立されてきた各種の要素技術を考え合わせると、電子工学分野には膨大な要素技術の蓄積がある。これら要素技術を総合して、社会的要求、あるいはシステム的要求に応えるべきデバイスや材料を構成していく総合化技術の確立も、蓄積された知的財産を有効に利用し、かつ、需要に応えるために極めて重要である。

これは、いわばトップ・ダウン的研究展開の手法であり、目的指向に基づくシステム、デバイス、材料、プロセス等の設計にかかわる指導原理の探究とみなすことができる。これを可能ならしめるには、データ・ベース、知識ベースの構築はもちろんのこと、人工知能の活用等、情報工学的技術に依存する所が多く、ハードウェアとソフトウェアの研究の緊密な連携が必要とされる。

### 3.4 電子工学的手法の他分野への適用

今日では、電子工学の分野で発展してきた電子計算機や計測手段の利用は、他の理工学分野はもちろん、政治、経済、社会、文化、芸術に至るまで、日常の活動に欠かせない手段となりつつある。これらは、これまで主として目

的に役に立つハードウェアの提供にとどまっているが、将来は電子工学の分野で培われた知識や手法が、もっと直接的に他分野に取入れられて、その発展を促すといった可能性も十分考えられる。将来の工学分野における重要なブレークスルーの一つとして注目されるマイクロマシンの研究の展開を可能にしつつあるのは、半導体デバイス作製のために蓄積されたプロセス技術の寄与が極めて大きい。このような例は今後さらに増加するものと予想される。これは、いわば電子工学分野における知識、技術体系の他分野に対する浸透と拡散である。

今世紀はエレクトロニクスの時代とも言われ、電子工学は技術革新の中核であった。その結果、開発努力と原資の投入はこの分野にかなりの程度集中的に行われた。そこで蓄積された知識や手法を、他分野の発展に貢献できるように提供することは、電子工学にとって今後の重要な課題の一つといえよう。

これまで述べた電子工学分野の今後の研究領域と、これを取りまく関連科学技術分野及び社会的要請等の相互の関連を概念的にとりまとめて図2に示した。

#### 4. まとめ

21世紀の社会の諸活動を支える基盤として、科学技術、特に電子・情報系科学技術の一層の発展が欠かせない。

電子工学における今後の研究領域の第一は、技術的限界への挑戦と新しい適応分野の開拓にある。特に素子、デバイスに係る研究開発では、微細化、大規模集積化等、その物理的限界に迫る各種のアプローチが活発に行なわれ

るであろう。

次に、電子工学の将来を支える新しい原理、現象の探索を挙げることができ。原子、分子レベルの構造制御を可能とする材料工学、超伝導現象や人工的微小構造がもたらす量子化現象等を利用した新しいデバイス機能構成、生体の情報処理機構の解明とこれに基づく高度な知的機能の工学的実現、等が代表的に挙げられる。

さらに、電子工学が蓄積した膨大な要素技術を総合して、社会的要請やシステム要求に応えるべきデバイスや材料を構成する総合化技術を確立することが重要である。また、これらの蓄積を他分野の発展のために積極的に提供することも課題の一つである。

以上、電子工学分野において今後予測される研究領域の推移と研究課題について考察し、提言を行なった。

この種の分析は科学技術の進展と共に内容やその意義に変化を生じ得る性格のものである。本文では、現時点での電子工学の技術動向と将来見通しを基礎に考察を試み、その結果を概括的にとりまとめた。これは、電子工学分野における今後の研究領域と課題を網羅するという意味では必ずしも十分ではないが、あえて提案して諸賢の御批判をまつものである。

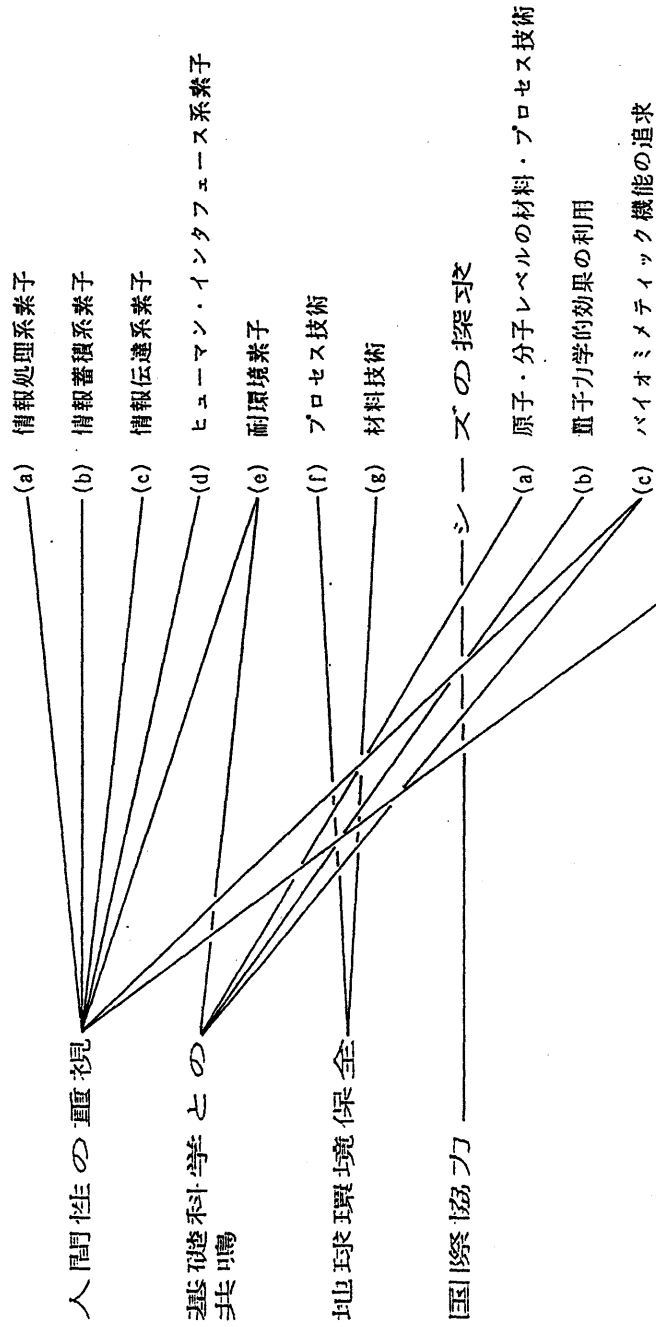
---

この検討は、第14期日本学術会議電子・通信工学研究連絡委員会で行われたもので、その委員以外に、清水啓三氏（電子技術総合研究所）及び山田千秋氏（日本電信電話株式会社）の協力を得た。

# 21世紀における 電子工学発展の趨勢

## 研究指針

技術的限界への挑戦



総合化技術／他分野への貢献

図1 電子工学発展の趨勢と研究開発の指針

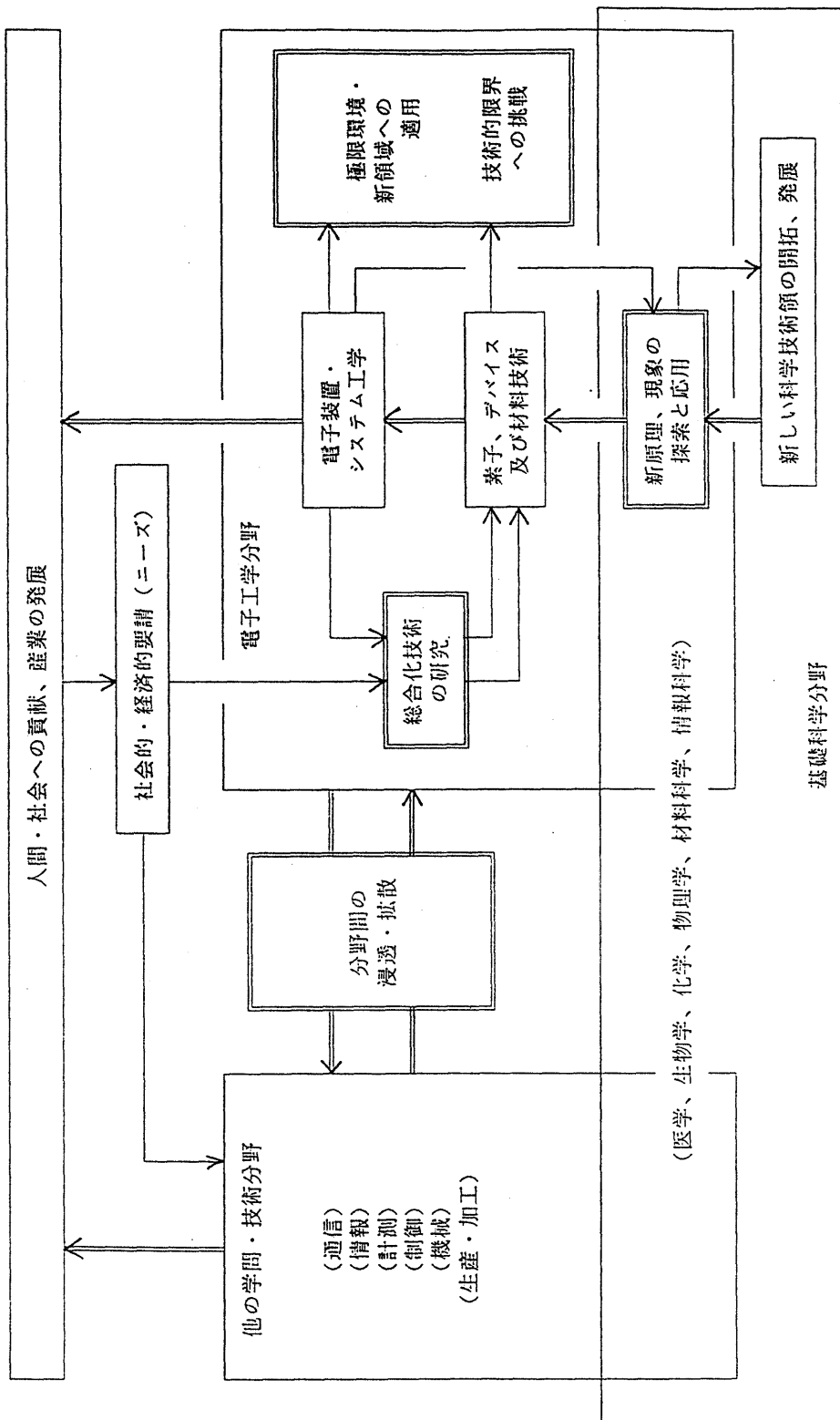


図 2 電子工学分野の研究領域と相互関連