

報告

電気電子工学の新たな方向性



平成29年（2017年）9月29日

日本学術会議

電気電子工学委員会

この報告は、日本学術会議電気電子工学委員会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議電気電子工学委員会

委員長	吉田 進	(第三部会員)	京都大学特任教授・名誉教授(平成28年4月から)
副委員長	保立 和夫	(第三部会員)	豊田工業大学副学長・教授(平成28年4月から)
幹事	大西 公平	(第三部会員)	慶應義塾大学理工学部教授
幹事	波多野睦子	(第三部会員)	東京工業大学工学院教授
	喜連川 優	(第三部会員)	情報・システム研究機構国立情報学研究所所長、 東京大学生産技術研究所教授
	小長井 誠	(第三部会員)	東京都市大学総合研究所特任教授
	土井美和子	(第三部会員)	国立研究開発法人情報通信研究機構監事
	安浦 寛人	(第三部会員)	九州大学理事・副学長
	渡辺美代子	(第三部会員)	国立研究開発法人科学技術振興機構・副理事
	大野 英男	(第三部会員)	東北大学電気通信研究所所長・教授
	荒川 薫	(第三部会員)	明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科 教授
	青山 友紀	(連携会員)	慶應義塾大学理工学部訪問教授
	荒川 泰彦	(連携会員)	東京大学生産技術研究所教授
	石原 宏	(連携会員)	東京工業大学名誉教授
	大橋 弘美	(連携会員)	NTT エレクトロニクス株式会社技術開発統合センタ 一次長
	河村 篤男	(連携会員)	横浜国立大学大学院工学研究院教授
	河野 隆二	(連携会員)	横浜国立大学大学院工学研究院教授
	小林 一哉	(連携会員)	中央大学理工学部教授
	榊 裕之	(連携会員)	豊田工業大学学長
	新 誠一	(連携会員)	電気通信大学情報理工学研究科知能機械工学専攻教 授
	津田 俊隆	(連携会員)	早稲田大学大学院国際情報通信研究センター研究院 客員教授
	中野美由紀	(連携会員)	産業技術大学院大学情報アーキテクチャ専攻教授
	日高 邦彦	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	福田 敏男	(連携会員)	名城大学理工学部教授

本報告の作成にあたり、以下の方々に御協力いただいた。

江村 克己 日本電気株式会社執行役員常務兼 CTO

渡部 俊也 東京大学大学執行役・副学長、政策ビジョン研究センター 教授

本報告の作成にあたり、以下の職員が事務を担当した。

事務	石井 康彦	参事官（審議第二担当）（平成 29 年 7 月まで）
	糸川 泰一	参事官（審議第二担当）（平成 29 年 7 月から）
	松宮 志麻	参事官（審議第二担当）付参事官補佐（平成 29 年 7 月まで）
	高橋 和也	参事官（審議第二担当）付参事官補佐（平成 29 年 7 月から）
	柳原 情子	参事官（審議第二担当）付審議専門職

要 旨

1 背景

複雑で変化が激しいグローバルな社会課題が顕在化し、持続可能な開発目標（SDGs：Sustainable Development Goals）2030アジェンダへの取り組みが求められており、電気電子工学によるイノベーション創出とサステナビリティ向上への貢献が期待される。全ての人が心身ともに健康で、豊かで、安心・安全な生活を送ることができる社会の実現を目指す必要がある。そのためには、電気電子工学は一層重要な役割と責務を担うことになる。なぜなら、情報通信と電気エネルギーのネットワークは、ともに安心・安全社会のライフラインとなる重要なインフラである一方、経済的・社会的課題を解決して新たな価値を社会に創出するための鍵となる「サイバー空間とフィジカル空間との融合」には、『情報（サイバー）』と『エネルギー（フィジカル）』の双方を主として扱う「対象」とし、それらを自在に操る「手段」として『エレクトロニクス』を中心とした領域をも包含する「電気電子工学の貢献が、必然的に、不可欠となるからである。

加えて、他分野と積極的な協働協創を図ることによって得られる新たな価値をグローバル社会へと浸透させ、生産性とサービスの質の向上を実現して、新産業の創出や社会システムの充実に結びつける一方、最新の人文・社会科学分野ならびに環境や医療看護介護分野等からの知見をも総合して、人々のために何を生み出すべきか、何をなすべきかを考究し、電気電子工学及びその関連する技術の社会的受容性に関する不確実性を低減する施策も検討し、具体化に結びつけることも重要である。

2 現状と課題

第 21 期日本学術会議第三部電気電子工学委員会では、2011 年 9 月に、「21 世紀における電気電子工学の在り方と果たすべき役割」と題する提言を表出した。その後、大学教育の質保証が重視され、電気電子工学に関しても、日本学術会議電気電子工学委員会のもとに「電気電子工学分野の参照基準検討分科会」を設置して検討を重ね、2015 年 7 月に、報告「大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準—電気電子工学分野」として公表した。

本報告は、上記の第 21 期の提言を参考にしつつ、2011 年以降の電気電子工学及びグローバル化が進展する社会状況にも鑑みて、2015 年 12 月 22 日に日本学術会議 電気電子工学委員会主催公開シンポジウム「電気電子工学分野の将来ビジョンと更なる活性化に向けて—学界と産業界のそれぞれの役割と連携の在り方—」で討論し、電気電子工学の新たな方向性に関し電気電子工学委員会の中でさらに議論を深め、課題を整理し報告としてとりまとめたものである。

3 報告内容

(1) 電気電子工学の新しい基幹工学としての学術体系の確立

イノベーション創出とサステナビリティ向上により社会が深化・発展してゆくためには連携すべき分野はより広範となっていくことが分析された。特に自動車・医療機器な

ど関連産業や隣接分野、人文・社会科学分野との融合は重要であり、対話・連携等を通して協働協創に積極的に参加する人材の育成が急務である。電気電子工学に係る教育・研究者は、早急に学術体系を見直すとともに、社会が必要とする人材を育てるための早急な教育体制整備の確立が望まれる。

(2) サイバー・フィジカル空間の融合による新たな社会的価値の創出

我が国を含む先進社会においては、今後価値の基準が「物」の豊かさから「生活の質」の豊かさへと推移する。低炭素社会を実現するとともに、少子化、高齢化等、現在進みつつある社会構造の変化に対応できるインフラ整備、社会資本整備及び経済活動展開が必要である。本報告では、電気エネルギー・制御システムにおけるセキュリティとサイバー・フィジカルシステム、及びデバイス・電子機器工学におけるサイバー・フィジカル空間を融合させた新たな社会的価値の創出、さらにサイバー・フィジカル空間を融合するための施策、という三つの観点を取りあげ新たな社会価値の創出に必要であることを述べている。

(3) 産学連携の在り方と新規イノベーションの創出

研究開発から社会実装さらには人材育成まで、ビジョンを共有した新しいタイプの組織対組織の大型連携を推進することで、かつての半導体の微細加工等におけるロードマップ中心の考え方とは異なり、グローバルな社会課題を解決していくことが、これから産官学が果たすべき大きな役割である。特定の企業とのクローズドな連携ではなく、エコシステム視点での連携が重要になってくる。本報告では、新しい産学連携の在り方として、このエコシステムの重要性を指摘している。

(4) 次世代を牽引する人材育成の在り方

次世代を牽引する人材は、基盤・基礎の習得（学力）、研究力、創造力に加え、隣接分野やその先の分野と対話・連携する力、深い人生観と価値観に基づく職業意識・倫理観が必須である。特に、これからは次世代を牽引する“尖った人材”等の育成が必要であるとの認識から、生涯軸、分野軸、国際化軸の三軸を設定して、各軸に沿った施策等の連鎖構築の視点の必要性を指摘している。

(5) 学協会の協働協創

電気電子工学委員会と学協会の今後の連携の在り方について、シンポジウムでのパネル討論とその後実施したアンケートをもとに議論した結果を報告している。その結果、今後広範囲な分野で電気電子工学の役割がますます高まる一方で、産業界からの貢献が少なくなりつつある現状が浮き彫りになってきた。今後コミュニティの更なる活性化を図るためには、学協会間の協働協創が不可欠であり、学術会議のハブ機能を積極的に活用すべきであると提案している。

目 次

1 序論.....	1
(1) はじめに.....	1
(2) 電気電子工学の重要性と役割.....	2
2 電気電子工学の新しい基幹工学としての学術体系の確立.....	6
(1) 大学における教育と研究の在り方.....	6
(2) 大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準-電気電子工学分野-	7
① 経緯.....	7
② 概要.....	8
③ 学修方法及び学修成果の評価方法に関する基本的な考え方.....	9
④ 市民性の涵養をめぐる専門教育と教養教育の関わり.....	9
3 サイバー・フィジカル空間の融合による新たな社会的価値の創出.....	9
(1) 電気エネルギー・制御システムにおけるセキュリティとサイバー・フィジカルシ ステム.....	10
(2) デバイス・電子機器工学におけるサイバー・フィジカル空間を融合させた新たな 社会的価値の創出.....	12
① サイバー・フィジカル空間を融合することによる「持続可能で安心安全な社会の 実現に向けた革新的電子デバイス・電子機器統合的グリーン半導体プラットフォーム の構築」.....	13
② サイバー・フィジカル空間を融合するための「安全・安心で効率的な社会基盤と 知的ネットワークの実現を目指す光・無線融合型自律分散協調情報通信ネットワ ークの構築」.....	13
4 産学連携の在り方と新規イノベーションの創出.....	14
(1) イノベーション視点から見た学術研究と産業界との連携.....	14
① 技術のもつ2つの不確実性.....	14
② 技術の不確実性削減の施策.....	15
③ イノベーションを考える上でのエコシステムの役割と重要性.....	15
④ エコシステム整備の視点でのイノベーション政策.....	15
(2) 社会課題を解く視点.....	16
① 社会課題解決への挑戦.....	16
② 大型連携の推進.....	16
③ グローバル人材の育成.....	16
5 次世代を牽引する人材育成の在り方.....	16
6 学協会の協働協創.....	18
7 結論.....	20
<参考文献>.....	21
<参考資料1> 審議経過.....	22

＜参考資料 2＞ シンポジウム開催.....	23
＜付録＞ 学協会の今後の在り方のアンケート結果のまとめ.....	23

1 序論

(1) はじめに

複雑で変化が激しいグローバルな社会課題が顕在化し、持続可能な開発目標（SDGs：Sustainable Development Goals）2030アジェンダへの取り組みが求められており、電気電子工学によるイノベーション創出とサステナビリティ向上への貢献が期待される。また第5期科学技術基本計画に掲げられた「超スマート社会 Society5.0」[1]に見られるように、高度な情報通信技術を駆使して、全ての人々が心身ともに健康で、豊かで、安心・安全な生活を送ることができる社会の実現が渴望されており、電気電子工学はその実現に当たって重要な一翼を担う。なぜなら、経済的・社会的課題を解決して新たな価値を社会に創出するための鍵となる「サイバー空間とフィジカル空間との融合」には、『情報（サイバー）』と『エネルギー（フィジカル）』の双方を主として扱う「対象」とし、それらを自在に操る「手段」として『エレクトロニクス』を中心とした領域をも包含する」電気電子工学[2]の貢献が、不可欠となるからである。

このように情報通信と電気エネルギーのネットワークは、ともに安心・安全社会のライフラインとなる重要なインフラであり、これらを拡充してゆくことは、競争力指数としても重要な一人当たりのGDP(Gross Domestic Product)を増大させることにもつながる。電気電子工学のさらなる振興と他分野との積極的な協働協創によって誕生させ得る新たな価値をグローバル社会へと浸透させ、生産性とサービスの質の向上を実現して、新産業の創出や社会システムの充実に結びつけることが、生活の質の向上を目指す上で極めて重要である。一方、最新の社会科学ならびに人文科学からの知見をも総合して人々のために何を生み出すべきかを考究し、技術の社会的受容性に関する不確実性を削減する施策も検討・実施して具体化に結びつけることも重要である。電気電子工学は、上述したその学術的・技術的な本質において、将来のあるべきスマート社会の実現に向けて必須な役割を担える存在であるとともに、それに対して責務を負っていることを強く認識することも不可欠である。

第21期日本学術会議電気電子工学委員会では、2011年9月に提言「21世紀における電気電子工学の在り方と果たすべき役割」[3]を表出し、下記の5項目を示した。

- 1) 電気電子工学の新しい基幹工学としての学術体系の確立
- 2) 自然との共生を可能にする持続的人間親和型システム産業の創出
- 3) 一見不可能とも見える程の高い目標を設定したプロジェクトの推進による新規イノベーションの創出
- 4) 次世代を牽引する「尖った人材」の積極的活用
- 5) 高度人材が意欲的に活躍できる文化の醸成

その後、大学教育の質保証が重視され、電気電子工学に関しても、日本学術会議電気電子工学委員会のもとに「電気電子工学分野の参照基準検討分科会」を設置して検討を重ね、2015年7月に、報告「大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準—電気電子工学分野」[2]として公表した。本参照基準を策定するにあたっては、関連学会からの代表にも議論に参画して頂き、公開シンポジウムも開催して市民や産業界

からの多様な視点での意見を取り上げ、電気電子工学の社会に対する役割を浮き彫りにする報告を行った。この中で、電気電子工学の学術分野を、以下のように定義した。この定義は、電気電子工学に関する新しい基幹工学としての学術体系を確立する上での基本となるばかりか、本分野が将来のあるべきスマート社会の実現に直接かつ大きく寄与できることを示した点でも意義深い。

（定義）電気電子工学は基盤を物理学と数学におき、電磁気学や量子力学を活用して電磁氣的現象、電子の振る舞い、電磁波・光波、量子等を自在に操り、情報を数学的に表現してその伝送や処理を高度に行い、大規模なシステムをモデル化し制御して所望の機能を実現する学術領域である。周辺の学術領域とも連携を深めて広範な工学的成果を生み出し、人々に豊かな生活を提供し、人類が持続的に発展することを可能にする中核的役割を果たす領域である。そして本領域は、『エネルギー』と『情報』とを主として取り扱う「対象」とし、それらを自在に操る「手段」として『エレクトロニクス』を中心とした材料、デバイスからソフトウェアに至る領域も包含し、これら「対象」と「手段」とが絡み合って融合した極めて大きな領域をカバーする学術分野である。

本報告は、上記の第 21 期の提言を参考にしつつ、2011 年以降の電気電子工学及びグローバル化が進展する社会状況にも鑑みて、2015 年 12 月 22 日に日本学術会議 電気電子工学委員会公開シンポジウム「電気電子工学分野の将来ビジョンと更なる活性化に向けてー学界と産業界のそれぞれの役割と連携の在り方ー」で討論し、電気電子工学の新たな方向性に関し、電気電子工学委員会の中でさらに議論を深めた結果をとりまとめたものである。

（2）電気電子工学の重要性と役割

2015 年、我が国の国内総生産（名目値）は約 537 兆円、実質 GDP は約 528 兆円[4] となっている。一方、同じ年、製造業からの出荷額は合計約 299 兆円、付加価値額は約 88 兆円である。これらは、幾つかの産業分野に分類されているが、その中で、電気電子工学に関連する 3 つの分野（電子部品・デバイス・電子回路製造業、電気機械器具製造業、情報通信機械器具製造業）からの出荷額は約 39 兆円であって全体の約 10% を占め、付加価値額は 2 年連続して増加し、約 13 兆円である[5]。製造業は我が国の基幹産業であるものの、GDP においてその占める割合は約 16%、なかでも電気電子関連製造分野から GDP に対する直接的な寄与は約 2% に過ぎなくなっている。これは、近年における生産拠点の海外展開や、電気電子製造業の一部業種における競争構造の大きな変革、また電気電子工学技術を応用したサービス産業の拡大、さらに他産業への間接的な寄与が、影響していると考えられる。

しかし、21 世紀社会にあつて、IoT(Internet of Things)やスマートグリッドを始めとする情報とエネルギーのネットワークが進展し、グローバルで超スマートな社会へと遷移する中で、電気電子工学に対しては、より重要な役割と責務を担うべきという期待が大きい。既に、自動走行運転や電気自動車を含む高度道路交通システム、エネルギーバリューチェーン、スマート生産システムなどの開発が加速している。特に、グリーン

イノベーション、ライフイノベーションを推進する上で、電気電子工学には新しい技術的ブレークスルーを実現するために主要な役割を果たすことが期待される。また、自動車や航空機等の輸送機械、ロボット、エネルギーから、流通、金融、医療・介護、エンターテインメント等、あらゆる分野においてイノベーションを誘起してゆく上でも、これら分野と電気電子工学分野との協働協創が必須となる。このように電気電子工学分野は、豊かで質の高い国民生活を実現する上で、必須な学術・技術領域である。以下に、このような電気電子工学分野の重要性に関する証左を示す。

平成 26 年度の経済産業省産業技術調査事業「産業界と教育機関の人材の質的・量的需要ミスマッチ調査」[6]の結果の一部を抜粋して、企業における現在の業務で重要な専門分野と大学における分野別研究者の分布を図 1 に示す。これは、20 歳以上～45 歳未満で、産業界で正社員や経営者・役員等の雇用形態で働く技術者を対象としてアンケートを実施し、最終的に 9822 人より有効回答を回収した結果である。専門分野は、科研費の分科に対応した 30 分科に分類し、回答者は現在の企業における業務で重要な専門分野を最大 3 分野回答した。この結果からわかるように、電力・電気機器・回路系、電子系デバイス、計測・制御システム、IT ハード系は、企業における現在の業務の中で重要であり、大学で学ぶ必要のある専門分野である一方で、現実的には研究者数が少ないことがわかる。今後も、電気電子工学分野は多岐の分野をつなぐ基盤・プラットフォームであり、さらにはサイバー空間とフィジカル空間を融合する重要な役割が期待されるため、ますます専門分野としてのニーズが高まるものと予測される。

一方で、産業構造や社会的なニーズの変化に伴い、電気電子工学系の修士修了後の進

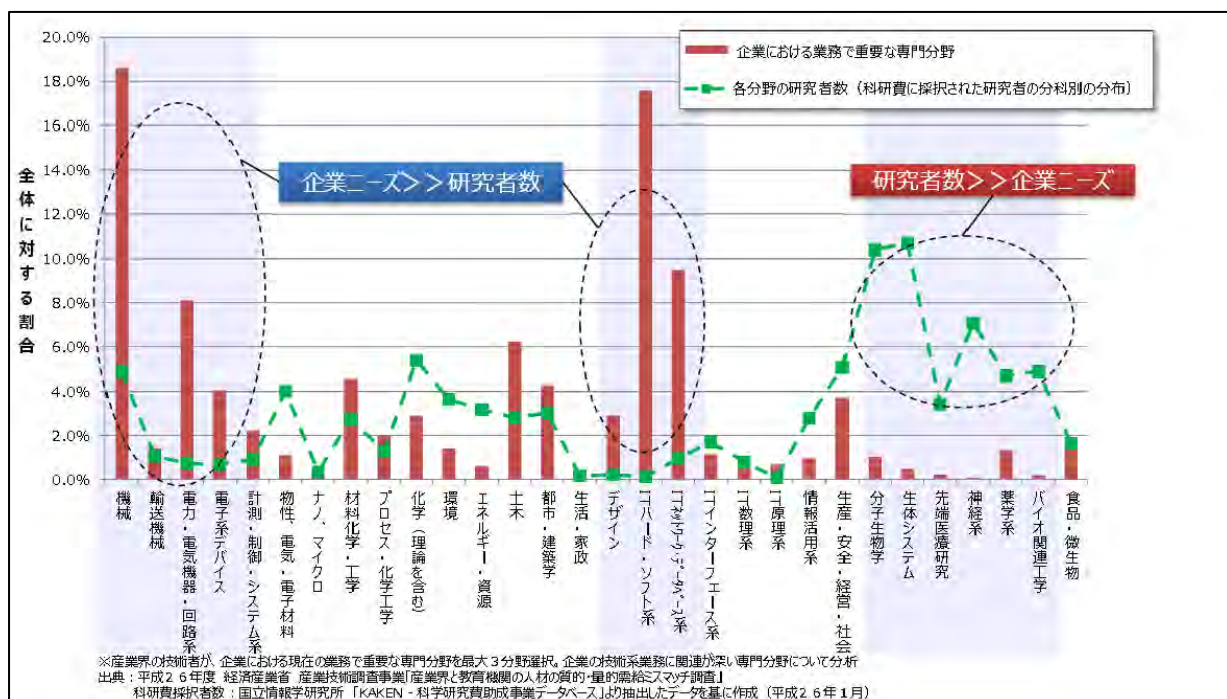


図 1 企業における現在の業務で重要な専門分野と大学における分野別研究者の分布

(出典) 平成 26 年度 経済産業省 産業技術調査事業

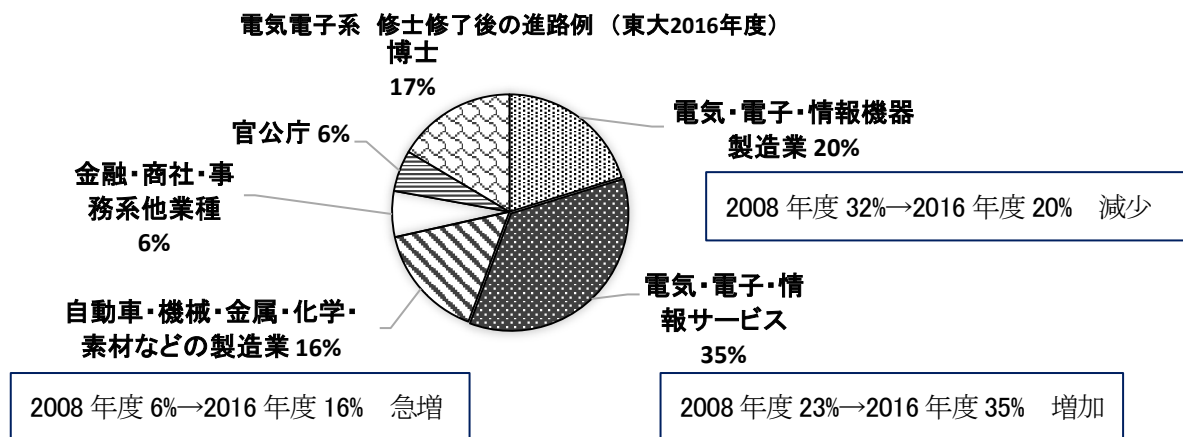
「産業界と教育機関の人材の質的・量的需要ミスマッチ調査」

路には 2000 年代後半から変化が顕著になってきている。一例として、2016 年度の東大と東工大の修士修了者の進路状況を図 2 (a) (b)に示す[7、8]。進路先は、電気・電子・情報機器製造業、電気・電子・情報サービス業、自動車・機械・金属・化学・素材等の他分野の製造業、金融・商社等の事務系、官公庁、博士進学に分類している。2016 年度は、東大も東工大も電気・電子・情報サービス業への就職が、電気・電子・情報機器製造業より上回っている。また、自動車・機械・金属・化学・素材等、いわゆる他分野の製造業への進路が急増している。東大について 2008 年との比較をすると、電気・電子・情報機器製造業は約 12%減少、サービス業は約 12%増加、その他の製造業は倍増している。年次ごとにどのような変化があるのか、京都大学の例を図 2 (c)に示す[9]。かつては約半分の学生が就職した電気・電子・情報機器製造業は 1997 年をピークに減少し続け、2010 年にサービス業が製造業を上回った。また 2014 年には、他分野の製造業への進路と電気電子系の製造業とが逆転した。特に、自動車関係への進路が増えている。

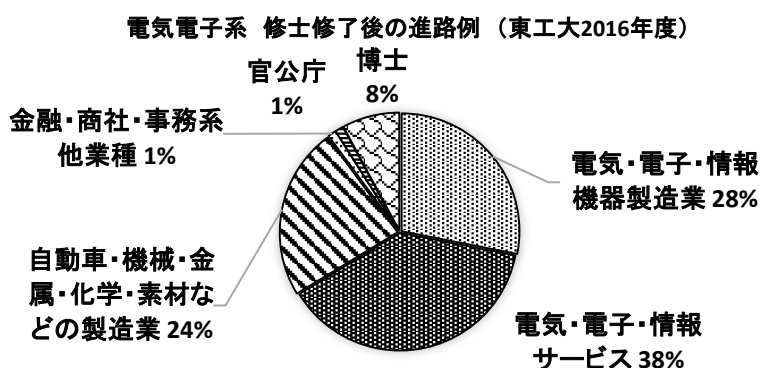
ここで確認しておくべきことは、電気電子工学分野からの卒業生・修了生への全体としての求人には、問題は発生していないことである。

このように、産業構造や職種がものづくりからサービスへと重点を移す中で、専門的知識・技能と同時に協働協創が重要になるため、人を引きつける自己表現力や対人関係力に優れた人材が貴重になる。独創力を評価するとともに、高い見識や品格、気配り、気概等を兼ね備えた真のリーダーとしての資質を涵養する場を設ける必要がある。特に工学者、工学研究者は、社会に役立つ技術やサービスを開拓することを期待されるので、必要とされる「もの」や「こと」を社会の人々からくみ上げ、また、人々に情報や警告を発信する能力が極めて重要となる。人々や社会がどのような「もの」や「こと」を必要としているのか、より豊かな生活が実現できるのかを見抜く、鋭い観察力や洞察力、そして共感力を養う必要がある。それにより、異分野融合や人材の流動化が加速されて、協働協創が促進し、超スマート社会につながる新たな価値を創出することに貢献できよう。

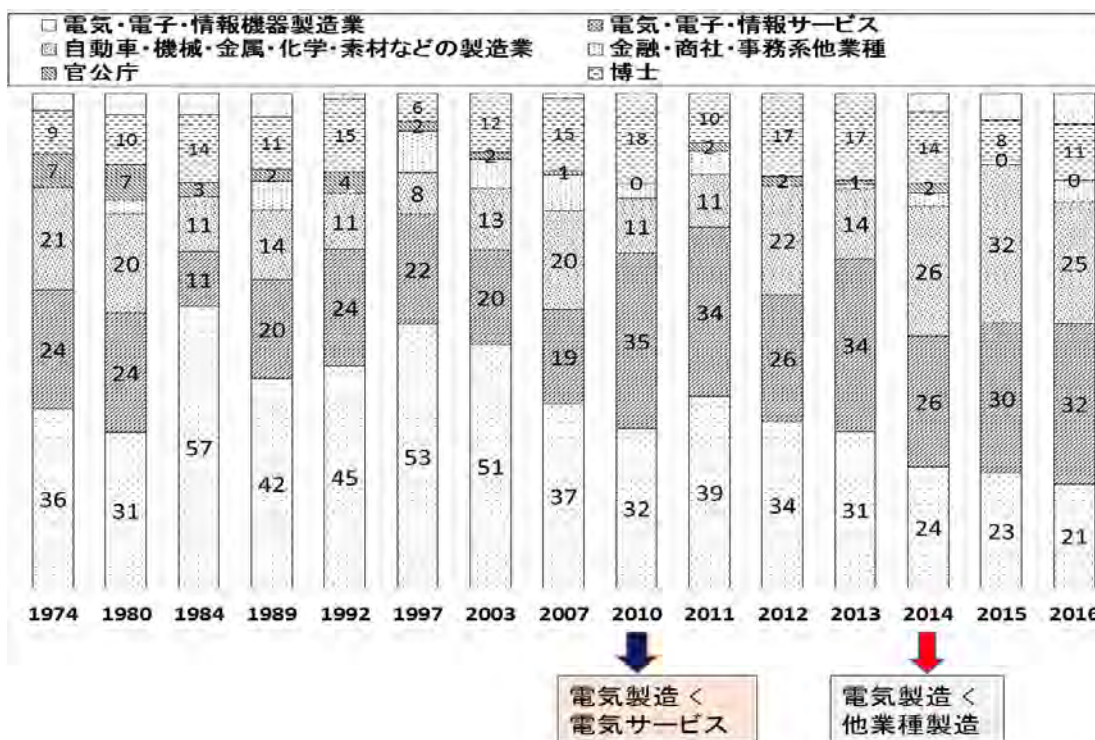
このように、今後も電気電子工学は、他の産業への高い波及効果を持ちつづけ、新たな産業、サービス、ソリューション、価値を産み出して、新産業さらにはイノベーションを起こすことで、我が国ならびに世界の経済にとって大きな意味を持つものと確信する。電気電子工学技術は、20 世紀後半の社会に対して果たした大きな役割をはるかに凌駕する貢献を、21 世紀社会においても果たしてゆくものと考え。産業構造と社会構造が急速に変化する中で、異分野と融合して新しい社会的価値を創出するためには、電気電子工学の学術としての再定義、大学における研究と教育の新たな在り方、グローバル人材の育成、イノベーション視点からみた新たな産官学連携、学協会との連携等を勘案して、電気電子工学の再構築を検討する必要がある。また、現在細分化されている学術や学会活動ならびに技術層間の協働を産官学で促進して、協働協創により新しい価値を創出し続けることが、今後益々重要となる。



(a) 例 東京大学 2016 年度



(b) 例 東京工業大学 2016 年度



(c) 電気電子系修士修了後の進路の年次変化（例 京都大学）

図2 電気電子系 修士修了後の進路の状況

(出典) 各大学の電気電子系 OB 会ホームページ、会誌の参考データをもとに委員会で作成

2 電気電子工学の新しい基幹工学としての学術体系の確立

イノベーション創出とサステナビリティ向上により社会が深化・発展してゆく中で、電気電子工学の果たすべき役割はより一層重要となり、連携すべき分野はより広範となつてゆく。他の広範な分野との融合は重要であり、協働協創に参画できる人材の育成も重要である。電気電子工学の更なる充実と発展には、その知が大きく拡散した現状を勘案して、依って立つ知識基盤を整理し、学術体系の再構築と、時代の変化に即した人材育成に係る教育体制の充実を図る必要がある。電気電子工学に係る教育・研究者は、早急に学術体系を見直し、社会が必要とする人材を育てるための教育体制の整備を進めなければならない。また社会科学や人文科学からの知見を総合して、人々のために何を生み出すべきかを考究しつつ、技術の社会的受容性に関する不確実性を削減する施策も検討・実施して、新たな価値創出、超スマート社会の実現に結びつけることが必要である。

本章では、大学における本来的な教育と研究の在り方を確認した後、「大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準—電気電子工学分野」[2]の概要を報告する。

(1) 大学における教育と研究の在り方

大学での教育において学生が修得すべきことは「深い理解」であり、その理解に至るための「学習態度」である。帰結の暗記は理解ではない。全ての帰結には理由があつて、真に理解するとは「帰結に対応した理由に納得する」ことである。こうして修得された理由は、それを帰結とするさらに深い理由を手繰り寄せる。このような「帰結と理由の連鎖」を理解してはじめて、縦横無尽に絡み合つて幅と厚みを織り成す知識体系の修得が可能となる。電気電子工学分野での一例を示すと、「集積回路構成論」が成り立つ理由として「電気回路理論」の体系が大きな役割を果たし、その「電気回路理論」が成り立つ理由としては「電気磁気学」の体系が存在する。

このような学習は、本来、全ての段階の教育課程で実施されるべきである。大学での教育内容は重層化され体系化された「帰結と理由の大規模な連鎖」であるので、上記の学習態度が特に必要となる。体系化されているからこそ、大規模な連鎖でも理解することができる。専門分野の教育の意味はここにある。このような学習態度を身に付けた若者は、未知の分野での理解をも深めて行ける「自己学習可能な人材」となる。

学部での4年間は、基本的に、上記のようにして体系的な専門知識を理解するとともに、そのための学習態度を培う期間である。その最終段階である卒業研究は、解のない課題への初の挑戦となる。未知の課題に解を与えるという「研究」において必要となる態度もまた、「帰結に対応した理由への納得」を繰り返すことである。つまり、論理的思考を忍耐強く深めて、はじめて新たな研究成果に辿り着く。大学院においては、新しい課題を自ら見出してこれに挑戦する。特に博士課程にあつては、独創性に富んだ課題を設定し、世界に先駆けてこれに解を与える経験を積み、成功体験と自信とを獲得する。これら研究においては、異分野との連携も重要であり、また可能でもある。

課程博士号取得者は、上述のように、自己学習可能な能力を鍛え、独創性に富んだ課題を設定してこれに解を与えた経験を有する若者である。専門性が深いだけでなく、新たな未知の課題に果敢に挑戦できる勇気も鍛えている。このような課程博士人材は、

大学、研究機関、行政機関、民間企業等々の様々な機関において、研究以外の任務も担って活躍できる。このような人材が豊富な社会こそがイノベーションが発現し易い社会である。世界中の国々で課程博士人材が重要視され支援される所以は、ここにある。

工学的な研究成果は、社会にあらたな価値を生み出してきた。この価値創造に関わる個々人には、それに付随してもたらされる将来を想像し、これに対して責任を持つことが求められる。そのためには、それぞれの専門を超えた幅広い熟慮が必要となる。リベラルアーツ教育は、この「あり得べき未来に対する責任感」の醸成にとって重要である。さらには、新たな産業の創成にとって必要である「何を作るかの発想」の原点としても、リベラルアーツ教育は必要となる。大学には、如何なる専門領域の教育であっても、適切な「リベラルアーツ教育」が求められる。

上述のように、真の学習に必要な態度は、新たな発想に基づくオリジナリティに富んだ研究の遂行に必要な態度でもある。これは、教育と研究を併走させることを本務とする大学において独創性豊かな研究成果が生み出され得る所以である。このような研究活動により、既存の学術領域は拡充し、新たな学術領域も創成される。そして、その成果は教育に反映される。大学においては、どのような分野・層の研究であっても、高い独創性の提示が求められる。新たなデバイスを利用したシステム構築の研究においても、たとえば、デバイス物理の熟慮から得られるユニークな発想によって斬新な機能や飛躍的な性能を提供すること等が必須であり、システム構成法自体において豊かな独創性の提示が狙い目となる。大学での研究は「学術研究」と呼ばれるが、その内容をより明確に示す言葉は「独創研究」である。教育と研究を併走させるという独特な使命を与えられた大学の研究は、「独創研究」であり得て、またそうでなければならない。

(2) 大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準-電気電子工学分野-

① 経緯

電気電子工学委員会の「電気電子工学分野の参照基準検討分科会」において検討を重ね、2015年7月に報告「大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準-電気電子工学分野」として公表した。報告をまとめるにあたり、関連学会からの代表にも議論に参加してもらい、さらに公開シンポジウムを開催して産業界や市民からの多様な視点での意見も取り上げ、有効な報告を行うことができた。

「参照基準」作成の目的は、以下のようである。21世紀型の「協働協創する知性」を追い求めるとき、各学問分野はそのコアとなる部分を互いに認識することが重要となる。従って、各学問分野は、当該分野の「定義」を行ってそのコアとなる部分を抽出し、それが「社会とどうかかわるか」を明確にする必要がある。教育に関しては、各大学ではこれをもとに、それぞれの「教育理念」と「資源」に基づいて、それぞれのやり方で、教育の現場における具現化を行うことになる。従って、「参照基準」とは、「大学で何を学ぶのかを見える形にする」ものであり、21世紀の大学の「あるべき姿」を描くものであるともいえる。「どのレベルまでを学ぶのか」を規定するのではなく、「何を学ぶのかというゴール」をハッキリさせることが目的である。さら

に今後は、社会や産業界の人材育成においても有効に活用されることを期待する。

② 概要

ア 電気電子工学の定義

電気電子工学は基盤を物理学と数学におき、電磁気学や量子力学等を活用して電磁氣的現象、電子の振る舞い、電磁波・光波、量子等を自在に操り、情報を数学的に表現してその伝送や処理を高度に行い、大規模なシステムをモデル化し制御して所望の機能を実現する学術領域である。周辺の学術領域とも連携を深めて広範な工学的成果を生み出し、人々に豊かな生活を提供し、人類が持続的に発展することを可能にする中核的役割を果たす領域である。そして本領域は、『エネルギー』と『情報』とを主として取り扱う「対象」とし、それらを自在に操る「手段」として『エレクトロニクス』を中心とした材料、デバイスからソフトウェアに至る領域も包含し、これら「対象」と「手段」とが絡み合って融合した極めて大きな領域をカバーする学術分野である。

イ 電気電子工学に固有の特性

電気電子工学は、電磁気学や量子力学をはじめとする物理学ならびに数学により、実現すべきデバイスやシステム等に要求される性能・特質に応じて最適な設計科学的手法を体系化し、提供する。物理学、数学の原理から着実に理論を積み重ね、厳密な体系化のもとに簡略化・抽象化がなされることが特徴である。この結果、各設計手法は、高度な学術的技法を用いながらも容易に使いこなせる。電気電子工学は、物理学、数学を活用して、社会が必要とする「もの」及び「こと」を作り出す学術体系である。それ故に、境界・融合領域における新たな学術分野の創成に寄与していくことが求められる。

ウ 電気電子工学を学ぶすべての学生が身に付けることを目指すべき基本的な素養

(ア) 基本的な知識と理解

電氣的・磁氣的現象を個別現象相互の関連を含めて説明でき、それらを制御・応用する手法を説明できる。また情報を数学的に表現する手法と評価する手法、数学的に表現された情報を電氣的・磁氣的現象に変換する手法と処理する手法、システムの状態を把握・制御して所望のシステム機能を実現する方法も説明できる。さらに各知識と理解を抽象化して、大規模なシステム機能を実現する方法も説明できる。微積分、代数学等の基礎数学と古典力学、電磁気学等の基礎物理学の基本的な事項が説明でき、電気電子工学の社会における役割と責任が説明できる、コミュニケーション能力、社会が必要とする総合的で複雑な課題を解決する経験を積んで得られる課題発見と課題解決に関する知識と理解がある。

各大学は、学士課程の設計に当たり、建学精神や規模に応じ、獲得する知識と理解に最適な重みを付け、最適な学修量を自主的、自立的に設定する。

(イ) 基本的な能力

電氣的・磁氣的現象とこれらを抽象化した知識と理解、ならびにこれらを制御・応用する手法とを活用して、ある機能を示す材料、デバイス、機器等を、案出、

設計、開発、実用化できる。システムの状態を把握し制御しつつ所望のシステム機能を実現する。情報を数学的に表現、評価する手法、数学的に表現された情報を電氣的・磁氣的現象に変換し処理する手法を活用して、新機能を示すデバイス、機器、システム、サービス等を案出、設計、開発、実用化できる。技術の公共性を理解し、工学倫理等の熟慮により、提供するサービス、システム、機器、デバイス、材料等が社会にとって適切かの判断ができる。社会が必要とする解答が明確ではない総合的で複雑な課題に関して、これを発見して解決する能力を発揮できる。このような獲得すべき簡略化・抽象化能力やシステムの思考力は、卒業研究等で得られる課題発見・解決力、実験・演習等を通じて涵養されるコミュニケーション力、チームワーク力と相俟って、一般的・汎用的に活用できるジェネリックスキルとなる。さらに技術を社会実装することを務めとする工学に携わる者のための教養教育の構成の工夫によって、今後の社会に「何を作る」ことが重要かと、それを「どう作るか」の感性を高めることもできる。

③ 学修方法及び学修成果の評価方法に関する基本的な考え方

知識を獲得し思考力を養う講義、知識と思考力を活用して自分のものとする演習・実験、体験教育、問題発見・分析・解決力や課題へのチャレンジ精神を養うための課題研究も組み合わせることが望ましい。透明で公正な評価体系を導入することが重要である。

④ 市民性の涵養をめぐる専門教育と教養教育の関わり

電気電子工学の幅と厚みへの理解の他、社会への貢献にとって必須の広い教養が必要である。様々な分野と協働協創できる能力、第一言語（最も上手く使いこなせる言語）力、国際語力、双方向のコミュニケーション力も重要である。

3 サイバー・フィジカル空間の融合による新たな社会的価値の創出

経済的・社会的課題を解決して新たな価値を社会に創出するための鍵となるサイバー空間とフィジカル空間の融合に当たって電気電子工学分野が果たすべき役割は、必然的に大きい。他分野との協働協創がますます重要となる。有限な天然資源を浪費することのない産業形態、低炭素社会を実現するとともに、少子化、高齢化等、現在進みつつある社会構造の変化に人々が上手に対応できるようなインフラ整備、社会資本整備や経済活動展開が必要である。安心・安全社会において自然と人間とが調和し共生する上で、信頼に足る電力や情報通信ネットワークの構築も不可欠である。

本章では、電気電子工学分野における超スマート社会実現の要となると考えられる多くの取り組みや構想のなかから、電気エネルギー・制御システムにおけるセキュリティとサイバー・フィジカルシステム、及びデバイス・電子機器工学におけるサイバー・フィジカル空間を融合させた新たな社会的価値の創出、さらにサイバー・フィジカル空間を融合するための施策、について報告する。

電気エネルギー・制御システムは、社会の発展とともに巨大化・複雑化してきたが、一方でそのセキュリティについては、災害対応等はされてきたものの、広域災害や人工的災害、反社会的行動等に対するセキュリティマネジメントについては十分検討してきたとは言えない。そこで現在の当該システムにも適合し、将来の安全安心スマート社会を実現するためのセキュリティマネジメントの在り方について、検討を開始した。

電気学会では、「電気システムセキュリティ特別技術委員会」を創設し、その下に具体的な活動を行う5つの特別調査専門委員会を設け、扱う領域が少しずつオーバーラップしながらセキュリティマネジメントの全領域がカバーされる体制をとっている。それを図解したものが図3で、セキュリティにとっては何らかの要因があって問題が生じることから「要因」を縦軸に、また、影響を受ける「対象」を横軸にとって、5つの委員会が取り扱う領域を整理している。



「安全・安心社会の電気エネルギーセキュリティ」委員会では、電気エネルギーシステムが我が国の極めて重要な社会インフラであるとの認識に基づき、具体的な課題として、①日本のエネルギーベストミックス、②再生可能エネルギー導入に伴う電力システムの信頼性維持、③電力システム運用における需要側資源の活用、④英国における電力自由化後の実態と課題、⑤大災害時における電力システム運用、⑥電力技術の継承に関わる問題点と人材育成、を検討している。

近年では、電力、水、交通、物流、医療、情報等のあらゆる社会インフラの統合的な管理や最適制御を目指す、スマートコミュニティやスマートシティが指向されている。これらは、人や物等の物理システムと、それらに関する情報の収集・処理と最適制御を行うサイバーシステムが緊密に連携した、いわゆるサイバー・フィジカルシステムである。この制御モデルは、図4に示すように、実世界の情報をセンサで収集し、この情報をサイバー空間の強力な計算能力により処理し、その結果としての制御内容をアクチュエータにより実世界にフィードバックしている。

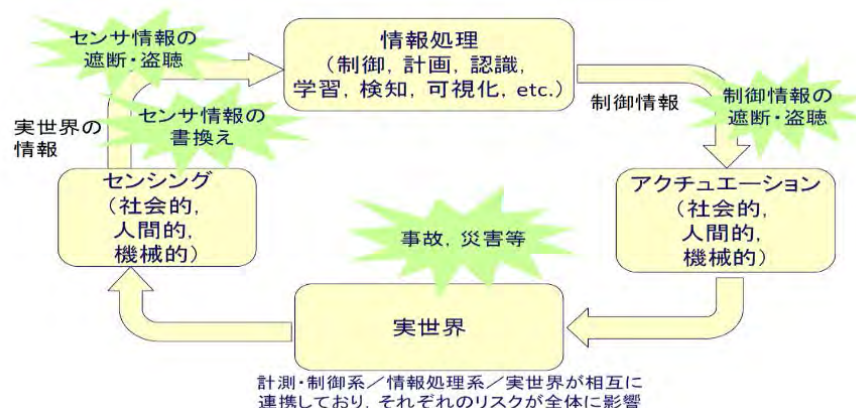


図4 サイバー・フィジカルシステム制御モデルとリスク発生箇所のイメージ

(出典) 公開シンポジウム「電気エネルギー・制御システムにおけるセキュリティを考える」より
制御・パワーエ学科会で作成

インフラのサイバー・フィジカルシステムは、従来、インターネット等の外部ネットワークとは接続せず、独自の通信プロトコルや OS による閉じたシステムとして構築されてきたことから、一般の情報系システムと同様のサイバー攻撃は受け難いとされてきた。しかし、近年のネットワーク連携の進展やシステム構成要素のオープン化やソフトウェア構成装置の増大等の情報環境の変化、及び市場の全面自由化が開始され多様な事業者が新規参入するというビジネス環境の変化により、制御系システムのサイバーセキュリティリスクが高まっている。リスクの例が図4に示されている。

以上の背景の下、①社会インフラ分野におけるサイバー攻撃、ICT (Information and Communication Technology) 機器やシステムの脆弱性、対策、②社会インフラ分野横断的に適用可能なセキュリティ技術、日本及び海外における国家・業界のセキュリティに関する施策（法規制、ガイドライン整備等）、の調査が進められている。

一方、学会ベースの調査検討活動とは別に、国の活動として、例えば、経済産業省所管となる「電気事業法」の保安規制に「セキュリティの確保」が新たに盛り込まれ、また、日本電気技術規格委員会の民間自主規格として策定された、「スマートメータシステムセキュリティガイドライン」(JESC Z0003 (2016))と「電力制御システムセキュリティガイドライン」(JESC Z0004 (2016))が「電気設備の技術基準の解釈」(省令)に関連づけられている。

産業界でのセキュアな制御システムの構築を支援する仕組みとしては、技術研究組合

「制御システムセキュリティセンター」がある。そこでは、制御システムのセキュリティ確保に向けた、研究開発、国際標準化活動、認証、人材育成、普及啓発、各システムのセキュリティ検証にいたるまで一貫した業務が遂行されている。具体的な事業の一つとして、サイバーセキュリティ演習が実施されている。電力、ガス、ビル、化学の分野において、現場の担当者、技術者、関係する事業者等が、制御システムにおけるセキュリティ上の脅威を認識することを目的として、制御システムの特徴的な機能を切り出し、デモンストレーションとサイバー演習が実施可能な模擬システムが構築されている。

学術会議としては、安全安心スマート社会を実現するためのセキュリティマネジメントのあるべき姿を社会に発信していくことが望まれる。

(2) デバイス・電子機器工学におけるサイバー・フィジカル空間を融合させた新たな社会的価値の創出

20 世紀に躍進した我が国のエレクトロニクス産業は、半導体の発展とともに多くの製品を生み出し、世界経済を牽引する一翼を担ってきた。21 世紀になり、ICT の普及とともに超スマート社会に変遷している現在、我が国のエレクトロニクス、中でもデバイス・電子機器工学分野は、超スマート社会における新しい価値やサービス創出等にどれだけ貢献し、主導できるかが鍵を握る。そのためには、デバイス・電子機器工学のメインストリームであるフィジカル空間の関連技術や、フィジカル空間のプラットフォームの進展はもちろんのこと、サイバー・フィジカル空間の融合と先導が期待される。これには現在細分化されている学術や学会、技術からなる重層構造の横断を産官学で促進し、頭脳を傾注し、協働協創により新しい価値を創出することが今後益々重要となる。

具体的には医療、環境エネルギー、安心安全、と様々な分野におけるエレクトロニクスの新展開、グローバル社会に適したビジネスモデルの構築が重要となってきた。勿論次のジャンプには、基礎研究による独創性の高い差別化技術が不可欠であることはいうまでもない。それに関わる経営者や技術者・研究者には、これまでに体験したことのない様々な思考や行動力が求められるであろう。例えば、異分野融合・連携による価値創出とオープンイノベーション、企業での実用化とベンチャー起業というビジネスモデルのハイブリッド化等、従来とは異なる方策や発想の転換が必要とされる。一方、2045 年問題といわれている、AI (人工知能) が人知を超える未知な世界がみえてきた局面では、人文・社会学者との議論が大切となり、学術会議の果たすべき役割は益々大きくなってきている。このように多様性が求められる一方で、的確な解に到達する能力が要求されるというような、厳しさを増すグローバル競争社会では、心の強さが必要になる。

本委員会傘下のデバイス・電子機器工学分科会ではこのような共通認識のもと、2016 年 1 月に公開シンポジウム「21 世紀社会における日本のエレクトロニクス分野の展望」を開催した。エレクトロニクス分野の将来ビジョンに関して、これからの社会、新産業革命、ベンチャー企業、医療、心理学等多様な視点から議論し、「学術の動向」にて公表した[10]。

さらに将来への展望と体系化した議論を重ね、第 23 期の「学術の大型研究計画に関す

るマスタープラン」として、次の二つを提案した。サイバー・フィジカル空間の融合による統合的グリーンプラットフォーム、ならびにサイバー・フィジカル空間を融合する光・無線融合型自律分散協調情報通信ネットワーク、である。今後は計画の具体化を進めるとともに、学術会議の第三部のみならず第一部、第二部との連携も強力に推進し、世界に先駆けて超スマート社会を実現していく。

① サイバー・フィジカル空間を融合することによる「持続可能で安心安全な社会の実現に向けた革新的電子デバイス・電子機器統合的グリーン半導体プラットフォームの構築」

地球温暖化やエネルギー資源の枯渇等、経済や社会の持続的な成長と発展を阻む困難な課題が地球規模で顕在化している。本計画は、これらの課題への直接的解決策を提供するもので、電子機器が消費するエネルギーだけでなく電子制御により非エレクトロニクス機器が消費するエネルギー資源を極小化するための統合的グリーン半導体プラットフォームを構築する。

本プラットフォームにおいて、情報系電子デバイスとパワーデバイスそれぞれの省エネ化を達成し、産業・民生用電力変換・制御機器や各種 ICT 機器の消費エネルギーを極小化する。情報系デバイスについては、メインストリームである CMOS 集積回路の省エネ化とともに光配線技術における情報処理システム全体の省エネ化を推進する。電力系デバイスについては、各種のワイドギャップ半導体を相互補完的に活用したパワーデバイス・システムの省エネ化に取り組む。さらに、省エネデバイス、センサ技術による IoT ネットワークを活用した社会全体の省エネ化等、サイバー空間とフィジカル空間とを融合させた新たな社会的価値を創出する技術の開発に取り組む。



図5 サイバー・フィジカル空間の融合による統合的グリーンプラットフォーム

（出典）第23期「学術の大型研究計画に関するマスタープラン」

② サイバー・フィジカル空間を融合するための「安全・安心で効率的な社会基盤と知的ネットワークの実現を目指す光・無線融合型自律分散協調情報通信ネットワークの構築」

我が国が抱えるエネルギー、労働人口減少、サイバー攻撃等社会課題の多くは、ネットワークと知的処理を融合させることにより解決への道が開かれる。そのためには、我が国が得意とする光通信技術と世界的に普及が進む無線ネットワーク技術を先端科学技術で融合し、より効率的で安心・安全なネットワークの実現が不可欠である。本提案は光ファイバ通信とマイクロ波・ミリ波無線通信の間で電磁波としてのコヒーレンス状態を保持し両者をシームレスにつなぐことのできる「フルコヒーレント情報通

信」を実現し、これにより制御層から物理層までを完全仮想化した自律分散協調ネットワークを技術開発することにある。その鍵を握るのが、超多値信号を送送可能なデジタルコヒーレント光伝送技術、光から無線の領域で動作可能な超広帯域光機能デバイス、ポスト5G(第5世代モバイル通信)分散アンテナ無線技術であり、耐災害性に優れた光・無線融合アクセスネットワーク技術である。具体的な取り組みとして光信号と無線信号を自在に周波数変換できる新型光電子デバイスを開発し、フルコヒーレント光・無線融合アクセス通信方式を実証する。

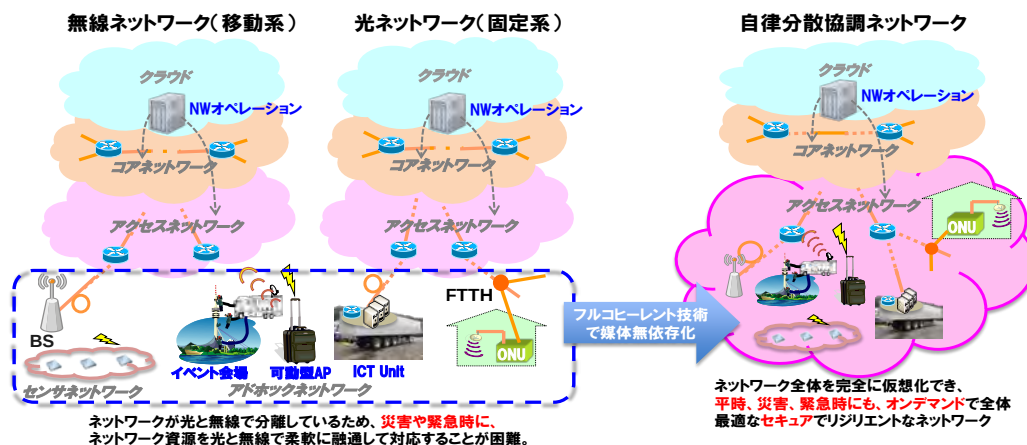


図6 サイバー・フィジカル空間を融合するための
光・無線融合型自律分散協調情報通信ネットワーク
(出典) 第23期「学術の大型研究計画に関するマスタープラン」

4 産学連携の在り方と新規イノベーションの創出

研究開発から社会実装さらには人材育成まで、ビジョンを共有した組織対組織の大型連携を推進することで、グローバルな社会課題を解決していくことが、これから産官学が果たすべき大きな役割である。特定の企業とのクローズな連携ではなく、エコシステム視点での連携が重要になってくる。本報告では、このような産学連携の重要性に焦点を当てて将来を展望している。

(1) イノベーション視点から見た学術研究と産業界との連携

① 技術のもつ2つの不確実性

イノベーションとは新技術等を取り入れて社会に価値を生み出すことを指す。すなわち科学的知見やそれを発展させた技術が、実際に製品やサービスに生かされ、それが社会に受容されることがイノベーションの必要条件である。その視点から見れば、実用化されていない技術、社会にまだ受容されていない技術はあくまで科学的知識に過ぎず、それはイノベーション視点から見れば大きな不確実性を伴う。すなわち、技術が実用化されていない、あるいは社会にまだ受容されていないということは、たとえ想定した機能を発揮したとしても、製品やサービスとして社会が受け入れるかどうかはわからないものであり、その意味では不確実性を持つのである。

例えば電気自動車が社会的受容性を持つための条件は、その時点でのエネルギーの

需給環境に依存する。現在の電気自動車の普及には、地球環境問題等を背景とした社会の支持とインフラへの投資が必要である。日本では、戦後直後には1充電で65kmの走行が可能であったとされる電気自動車が開発されていた。当時、技術としては優れていたが、バッテリーの鉛の市場価格が高騰し、電気自動車は価格競争力を失いガソリン車に転換した経緯がある。この歴史をみれば、電気自動車の社会的受容性が技術的側面だけで決まっているのではないことは明白である。

② 技術の不確実性削減の施策

2つの不確実性のうち、後者の社会的受容性に関する不確実性を削減する施策がより本質的な課題となる技術開発が目立つようになった。そのなかで最も重要だと思われるテーマとしてAI（人工知能）があげられる。自動運転をAIにゆだねることで事故率が大幅に減少したとして、果たして社会はAIが運転をすることを許容するだろうか。あるいはどのような条件が整えば許容されるのだろうか。現在注目されている深層学習による運転操作で事故が起きた場合、過失があったのか否かについて果たして、誰がどのような説明が行われるのであろうか。その受容性は国の制度によって、また社会の特性によっても異なるのかもしれない。

③ イノベーションを考える上でのエコシステムの役割と重要性

このように現在イノベーション活動を考える上で、技術を受容する社会への働きかけは極めて重要である。そのレベルは重層的で、電気自動車であれば地球環境問題への意識や、その認識をベースとした充電インフラの整備等、いくつもの層が関係する。できるだけ多くの企業にインフラ投資を促進させるために、自動車会社が特許無償開放を行う等もその働きかけの一つである。基盤を設計し構築する者は、できるだけ多くの企業を巻き込み、これらの企業による投資が行われるための仕組みをつくろうとする。所謂ビジネスエコシステムとは、このような関係性の中で位置づけられる企業ネットワークであるが、現在その働きかけの対象は、IoTの発達等の影響から、単一の産業分野を超えて巨大なネットワークに拡大しつつある。

④ エコシステム整備の視点でのイノベーション政策

技術開発がイノベーションとして結実するためには、社会がその成果を受け入れることが必要である。イノベーション視点から見た学術研究と産業界との連携を考える時、学術研究の成果は、技術の言葉ではなく社会に受け入れられるより適切なフレームワークの中で発信されるとき、社会の技術の受容性を高めることができる。その活動はクローズドなものではなく、オープン、それも周到に意図され社会を変革するための戦略的な施策で行われて初めて実現されるものである。

今後のイノベーションにおいては大学と学術団体が、特定の企業とのクローズドな連携を結ぶのではなく、エコシステム視点に立ったより広い連携を目指す必要がある。このようなイノベーション活動においては、自然科学に加えて、人文社会科学分野の学術コミュニティの役割がより重要になるだろう。

(2) 社会課題を解く視点

① 社会課題解決への挑戦

国連で持続可能な開発目標 SDGs が議論される等、グローバルに解くべき社会課題が顕在化してきている。複雑化し、変化が激しい社会の課題解決のためには、領域融合を進めて対応することが不可欠である。図7に産業界から見た意識すべき点を示す。産官学連携を進化させ、真のイノベーションにつなげる取り組みが望まれている。

② 大型連携の推進

複雑な課題を解くための産官学連携は、これまでのような大学教授と企業研究者が個別テーマについて共同研究を行う形態ではなく、解くべき課題を明確にした上で、組織対組織の大型連携とすべきである。このような観点から、NEC や日立製作所等の電機総合メーカーは、大学とそれぞれ大型連携を開始している。連携を開始するにあたり課題の共有が重要である。例を挙げると、NEC と東京大学との産学協創「フューチャーAI 戦略協定」の場合、“AI を活用した社会課題解決で、日本の競争力を強化”を課題とした。AI の進展が社会に与える影響を考慮し、共同研究開発のみならず、倫理・法制度に関する検討も連携に含めた。人材育成の重要性を意識し、博士課程の学生への支援を行う新たな奨学金制度も立ち上げている。このように、これからの産学連携では、高い視点に立つことが必要である。

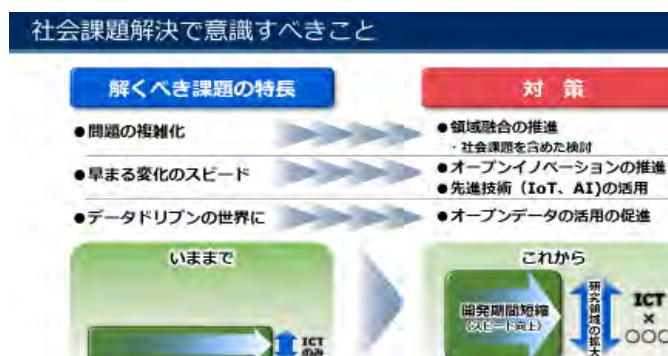


図7 社会課題解決で意識すべきこと（産業界からの視点）（出典）日本電気(株)執行役員常務江村氏

連携を開始するにあたり課題の共有が重要である。例を挙げると、NEC と東京大学との産学協創「フューチャーAI 戦略協定」の場合、“AI を活用した社会課題解決で、日本の競争力を強化”を課題とした。AI の進展が社会に与える影響を考慮し、共同研究開発のみならず、倫理・法制度に関する検討も連携に含めた。人材育成の重要性を意識し、博士課程の学生への支援を行う新たな奨学金制度も立ち上げている。このように、これからの産学連携では、高い視点に立つことが必要である。

連携の範囲が広がるにつれ、多様な分野から適切なメンバーが参画できるようにする取り組みが必要になる。関係者を集めてのワークショップや研究者データベースの拡充等が求められる。大型連携を出発点にした人材交流の促進や知的財産の効果的な活用等、成果最大化のための取り組みの強化と柔軟な制度運用が求められる。

③ グローバル人材の育成

変化のスピードが速くなる中で、最先端の技術に取り組む人材を確保することが重要になっている。昨今、セキュリティ人材やAI 人材の不足が喧伝されている。人材は一朝一夕に育成できないことから、中長期展望の対応が必要である。その意味で産官学連携に人材育成の枠組みを入れ、具体的に取り組むことが重要になる。

5 次世代を牽引する人材育成の在り方

情報通信技術（ICT）については、近年の環境を反映させて通信と情報処理が一体化した概念として広くとらえている。このような情報通信ネットワークが社会に浸透し、世界中とつながった巨大ネットワークを形成しており、そのおかげで世界中からいろいろな情

報を瞬時に入手できるようになった現在、ICT は便利で快適な社会生活になくはならない重要な社会基盤になっている。また、社会には安全安心、環境問題、経済問題、高齢少子化問題等の深刻な問題が山積しており、ICT がこれらの問題を解決する中心技術としてますます期待されている。このような期待は、平成 28 年 1 月に閣議決定された第 5 期科学技術基本計画（平成 28 年～32 年）の中でも、“ICT（情報通信技術）を最大限に活用し、サイバー空間とフィジカル空間とを融合させた取り組みにより、人々に豊かさをもたらす「超スマート社会」を未来の社会の姿として共有し、その実現に向けた一連の取り組みをさらに進化させつつ「Society5.0」として強力に推進し、世界に先駆けて超スマート社会を実現していく。”と謳ってあることにも表れている。

このように、ICT はそれ自体ますます重要な分野として発展していくことが期待されているが、一方で他の分野を支える基盤技術の側面も強めており、さらに世の中が次第に多分野の技術を融合したサービスを求めるようになった事とも相俟って、“〇〇情報”や“〇〇ICT”（〇〇は例えば農業や製薬のように ICT とは異なる分野）という言葉をよく耳にするようになった。実際このような名前の新たな学科の創設も続いている。社会の要請は、しっかりした ICT の基礎技術を備えるとともに、将来の社会の姿を描き（ビジョン志向）、世の中の要望を原点として技術を考え（Demand Pull 型）、いろいろな技術を組み合わせでシステムを実現する（デザイン志向）アプローチをとれる人材を求めていると思われる。また、過去においては目標となる手本が明確であったが、社会システム構築には手本がなく、どう進むべきか、何をすべきか、社会はどうあるべきか、将来展望を模索しなければならない状況にあり、適切な価値観に基づいた判断が求められる。産業技術はもとより企画や開発においても、社会を持続的に発展させ、国際的な課題を先導して解決していくためのイノベーションを創出していくことが不可欠であり、ICT 分野の人材には、専門性を通して人間社会に貢献するリーダーシップをとることが期待される。

複雑化した課題への対応という観点では、ダブルメジャーを有する人材へのニーズが高い。コミュニケーション能力も求められる。今後そのような人材の育成が進む教育体系への転換が求められる。社会の受容性が論点となる課題が増えていることから、研究者・技術者も人文科学系の教養を高めることが不可欠になる。速い技術の進化に対応するため、社会人の学び直しへのニーズも高まっている。社会人のリカレント教育のためのプログラムを、既存の学位システムとは別に、産学が共同でデザイン、実行していくことが求められている。

グローバルな課題を、グローバルな競争環境の中で解いていくためには、人材のグローバル化が不可欠である。電機メーカーでは海外大学・研究機関との連携も進めている。国内の大学、研究機関を含め、多様なバックグラウンド、特長を有する複数機関がより複合的な連携を有機的に進めることが必要になっている。その実現のためにもグローバル人材の育成、強化が喫緊の課題である。研究開発から社会実装さらには人材育成まで、課題を共有した新しいタイプの大型連携を推進することで、グローバルな社会課題を解決していくことが、これから産官学が果たすべき大きな役割である。

とはいうものの、人材育成を議論する中での問題点として指摘されているのは、その重

要性に関わらず、一部で既に電気電子工学技術が成熟した分野と捉えられ、かつ近年の若者の理系離れの影響もあり、優秀な若者を呼び込むことが難しくなっている現状である。この状況は、大学や企業における人材育成の在り方についての議論に加えて、大学以前、大学、企業、学会を含めた全体を眺めたライフサイクルでの人材育成連鎖の議論が必要な事を示している。また、同時に一般社会に対して、この分野の重要性・今後の発展性・楽しさについて理解を深めるアウトリーチ活動も必要である。

このような状況・議論を踏まえて、本委員会傘下の通信・電子システム分科会では、我が国のさらなる発展において特に意識して育成が求められるのは、現在不足が目立つ、新しい領域を切り開く力を持った「尖った人材」とであると指摘し、このような人材に要求される能力として、1. イノベーション力、2. 幅広い視野、3. 国際感覚をとりあげる一方、新たに視点を人材育成の連鎖構築に置いた議論を行った[11]。尖った人材が持つべき能力のまとめを反映して、育成の連鎖についての3つの軸を設定した。3つの軸とは、

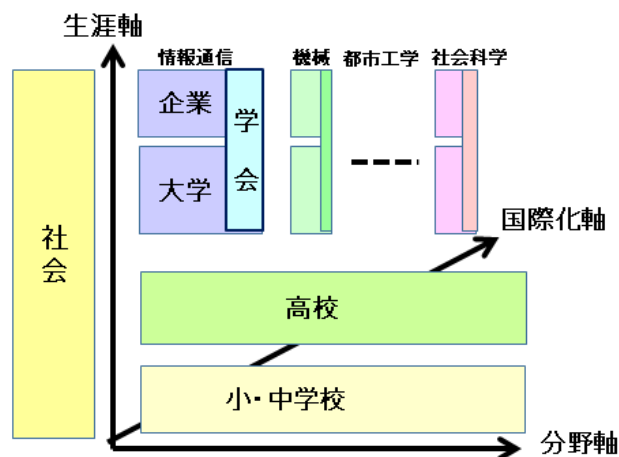


図8 人材育成連鎖の軸と主な関係者 [11]

1. 生涯軸、2. 分野軸、そして3. 国際化軸である。図8に、概念を示した。同図には主な関係者の位置付けも示している。この3つの軸について、更に大学からの視点、企業からの視点、学会からの視点をもって議論を展開することが今後の人材育成の出発点になる。

6 学協会の協働協創

電気電子工学技術の社会への浸透の程度はその国の文明のレベルを表す。実際、社会の隅々まで行き渡った電力供給や有線無線による通信は現代社会のインフラの象徴であり、しかも重要なライフラインである。しかし電気電子工学自体は他の工学に比べるとその歴史は浅い。例えば土木建築工学は古代ローマ時代までその歴史が遡れるのに対し、電気電子工学は高々150年の歴史しか有しない。中々目には見えない電気現象を工学として成立せしめたのはマックスウェルやスタインメッツといった先達の多大な努力のおかげである。このように学理から出発した電気電子工学を社会に普及させ、万人が利用できるまでに至る歴史において関連学会が果たした役割は大きい。例えば、1880年にグラスゴー大学でケルビン卿に教えを受けた志田林三郎は社会における電気技術や電信技術の重要性について身をもって知り、1888年に電気学会を設立した。また、1917年には電子情報通信学会も設立されており、米国のIEEE（The Institute of Electrical and Electronic Engineers）に比べても数年の時間的な歴史差を見るのみである。長い間、電気電子工学関連の学会で技術的なあるいは学術的な成果を発表することは、そこに従事する学者や技術者の誇りであった。これは20世紀において電気電子工学等が中心となり高度な産業社会が生まれたこ

と強い相関がある。しかし、産業の高度化に伴いこの二つの学会では電気電子工学の広範囲な応用分野をカバーできず、関連する多くの学会が生まれてきた。日本学術会議第3部電気電子工学委員会に関連する学会だけでも、映像情報メディア学会、照明学会、計測自動制御学会、情報処理学会、応用物理学会等がある。

21世紀は様々な価値観や異文化を許容し、民族、伝統や地域の独自性を認め、広い意味で一人一人の生活の質を高めていく社会の実現にその特徴がある。これは社会の価値が単峰的であることを前提とした20世紀型社会が、各人により異なる幸福の実現が全体の幸福に繋がるという多峰的な価値関数を実現する21世紀型社会へと移っていくことを意味する。従って電気電子工学の果たすべき役割がますます高まると予想される。実際、エネルギー、通信、情報、デバイスといったこれまでの電気電子工学の枠組みを越えて総合的な価値を獲得ないしは評価する傾向が強まってきている。その結果、知的財産を保護し、かつ戦略的に運用する例が増え、技術のグローバル化と独占が進んできた。新しい技術にいち早く知的財産を設定し、国際標準とすることで特権的な地位を確保し、排他的な運用を行う傾向が強まってきたのである。これは技術の囲い込みであり、電気電子工学が芽生えたところに競って技術を開発し、その成果を社会で共有してきた歴史とは明らかに異なる。その傾向が諸学会にも反映され、協力体制が希薄になってきている。それだけではなく、良い技術は特許等の知的財産権を取得してから公表する、あるいは良い技術故に学会では発表しない、等学会活動の価値を低下させる傾向も見られ、学会における産業界の会員減少にも繋がっている。一方で、海外に目を転ずれば、IEEE が世界的な活動を強化しており、日本の電気電子工学系の学会価値が相対的に低下している。

このような状況において、まずそれぞれの学会では現状をどのように捉え、どのように将来展望を描いているか調査した。まず、関係8学会（電気学会、電子情報通信学会、映像情報メディア学会、照明学会、計測自動制御学会、情報処理学会、応用物理学会、IEEE 東京支部）の会長あるいはそれに相当する役職を経験した方々において2015年12月22日に行われた電気電子工学委員会主催公開シンポジウム「電気電子工学分野の更なる活性化に向けて」においてパネル討論を実施し、引き続き2016年12月にはアンケートをとった。

パネル討論では電気電子工学の発展に果たすべき学会の役割を議論した。2時間強の時間ですべての問題を取り上げることは難しいが、幸いなことに興味深い議論がなされた。

電気電子工学分野は幅が広いものの、実は上記日本の7学会のほとんどで会員減少等の共通問題を抱えていること、及びそれぞれの学会の所掌範囲が多岐に亘るために独自の問題が顕在化していることが明らかになった。また、産業界との連携や社会との結びつきには特に注意を払っており、学会の活性化に多大な努力を重ねていることも明確になった。

前述したように現在の学会が抱える問題や課題の大きな原因には少子高齢化とグローバル化にある。学会は専門分野を共有する会員が集まるコミュニティであり、会員相互の情報交換による水飲み場効果で新しい知識や独創的な概念が誕生する場である。オープンで豊かな情報を受信送信できる環境を用意することが学会の発展に繋がる。IEEE を例にとると専門的な学術活動を行うソサエティと地域活動を行うリージョンが縦糸と横糸をなして、水飲み場を形成している。この構造はほとんどの電気電子関係の7学会でも

採用している。IEEEと大きく違うのは、運用をしている本部がそれぞれの水飲み場をできるだけ近付けようとしている点である。例えばスマートグリッドに関する共同国際会議は四つのソサエティの会長の一回のランチョンミーティングで実施が決まった。それ以降、主催するソサエティを順番に変えながら最新の技術の紹介と国際標準が毎年の共通会議で提案、議論され事実上の標準として決まっていく。また、共同でジャーナルを創刊する。これを目の当たりにすると学協会の協働協創が如何に大事か教えらる。日本の優れた学会活動にも、協働協創という視点があればコミュニティの活性化に繋がるように思われる。

しかし2016年12月に実施したアンケートでは、現状のまま単純に学協会が協働協創することには積極的ではない意見が多くある。

学会の協働協創は学会の合併を意味するものではない。如何に自主性を損なわずに協働協創するかという観点からの長期計画が示される時期であり、電気電子工学委員会も積極的に支援すべきである。なお、アンケートの具体的な内容は付録を参照されたい。

7 結論

21世紀における経済的・社会的課題を解決して新たな価値を創出するために、電気電子工学技術がますます広範囲に使用され、社会に不可欠になっている。その結果、産業、民生、医療福祉等あらゆる分野で飛躍的にその重要性が高まると同時に、技術成果の不確実性を減らし、より安心かつ安全に実装することが強く求められるようになった。すなわち、情報（サイバー）とエネルギー（フィジカル）の双方を融合せしめるエレクトロニクスを扱ってきた電気電子工学の貢献が超スマート社会の鍵となってきている。逆に言えば、電気電子工学の社会的な責任をどのように捉え、どのように果たしていくかという課題が出てきたといえる。本報告ではその中の5課題を取り上げ、考察を加えた。その第一は大きく拡散した電気電子工学の学術体系再構築の必要性である。時代の変化に即した学術体系の創生に向けて教育体系も相応しいものに変えていかねばならない。これは既に「大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準—電気電子工学分野」として2015年にも報告したところである。第二は新産業の育成である。人間や社会と親和性の高い産業を育成するために情報（サイバー）とエネルギー（フィジカル）の双方を融合する幅広い分野に社会的価値を創出する芽があると考ええる。第三は、新産業の背景となるイノベーション創出に関するもので、社会課題解決を目指し、実装から人材育成に至るビジョンを共有した新しい産学連携が有効であるという考え方を紹介している。具体的には技術的な連携のみならず、人文社会科学の視点を含むエコシステムが有効であると考ええる。第四は電気電子工学が社会に対して貢献する次世代人材育成の必要性の指摘である。隣接分野やその先の分野との対話・連携力の必要性はもちろん、戦略的に高い目標を目指す尖った人材育成の必要性を説いている。第五は学協会の協働協創に向けて電気電子工学委員会がイニシアチブを発揮すべきときであるとしている。

以上の5課題は電気電子工学が社会において果たすべき使命の中でも最たるものであり、今後さらに議論を重ねて実現への道筋を明らかにしていくべきものと考ええる。

＜参考文献＞

- [1] 科学技術基本計画 (2016 年 1 月)、科学技術イノベーション総合戦略 2016、2017 (2016 年 5 月、2017 年 4 月).
- [2] 日本学術会議 報告「大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準—電気電子工学分野」2015 年 7 月 29 日.
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-h150729.pdf>
- [3] 日本学術会議 提言「21 世紀における電気電子工学の在り方と果たすべき役割」2011 年 9 月 20 日.
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-t133-10.pdf>
- [4] 内閣府 統計情報調査結果、国民経済計算 2015 年 .
<http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/menu.html>.
- [5] 経済産業省 工業統計調査 2015 年.
<http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/result-2/h26/sokuho/index.html>.
- [6] 経済産業省 理工系人材育成に係る現状分析データの整理 (産業界の学びニーズに係る業種別・職種別分析) 2015 年 .
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/koutou/068/gijiroku/_icsFiles/afieldfile/2015/08/10/1360829_1.pdf.
- [7] 東京大学電気電子工学コース 広報誌 E&E NewsNo. 17 2017 年.
http://www.apet.t.u-tokyo.ac.jp/2017pdf/eenews_no17.pdf
- [8] 東京工業大学 東京工業大学電気・情報系同窓会「楽水会」.
<http://www.rakusuikai.jp/>
- [9] 京都大学工学部電気系教室 同窓会報 (洛友会報) .
<http://www.s-ee.t.kyoto-u.ac.jp/ja/information/540c7a934f1a-6d1b53cb4f1a>
- [10] 「21 世紀社会における日本のエレクトロニクス分野の展望」、
学術の動向 Vol. 21, No. 12, 63-84 ページ (2016) .
- [11] 日本学術会議電気電子工学委員会通信・電子システム分科会、報告「情報通信人材育成の連鎖構築について」、2017 年 (見込) .

＜参考資料１＞ 審議経過

平成 26 年

10 月 3 日

電気電子工学委員会（第 1 回）：役員選出、世話人の決定

平成 27 年

1 月 14 日

電気電子工学委員会（第 2 回）：今期活動方針に関する意見交換

4 月 9 日

電気電子工学委員会（第 3 回）：今期活動に関するアンケート調査結果報告と今後の活動計画について討議

10 月 21 日

電気電子工学委員会（第 4 回）：公開シンポジウムの実施計画案について討議

12 月 22 日

電気電子工学委員会（第 5 回）：電気電子工学関係 8 学会の会長（経験者）を招へいした公開シンポジウム（当日実施）の確認と今後の活動について討議

平成 28 年

4 月 1 日

電気電子工学委員会（第 6 回）：今期の意志の表出について意見交換

10 月 6 日

電気電子工学委員会（第 7 回）：改めて 8 学会宛にアンケート調査を行ったうえで先の公開シンポジウム等に基づき「報告」を作成することに決定

平成 29 年

4 月 14 日

電気電子工学委員会（第 8 回）：「報告」の素案に対して意見交換

6 月 29 日～7 月 3 日

電気電子工学委員会（第 9 回）（メール審議）：「報告（案）」の承認

9 月 15 日

第 23 期第 252 回幹事会にて報告「電気電子工学の新たな方向性」承認

＜参考資料２＞ シンポジウム開催

日本学術会議 電気電子工学委員会公開シンポジウム

「電気電子工学分野の将来ビジョンと更なる活性化に向けて
ー学界と産業界のそれぞれの役割と連携の在り方ー」

2015 年 12 月 22 日.

＜付録＞ 学協会の今後の在り方のアンケート結果のまとめ

- 1 実施時期：2016 年 12 月
- 2 対象：日本学術会議第 3 部電気電子工学委員会委員と 2015 年 12 月 22 日に行われた日本学術会議電気電子工学委員会公開シンポジウムのパネリスト
- 3 方法：電子メールによるアンケート配布と回収
- 4 アンケートの内容と結果

(1) 電気電子情報系学会の連携・協働協創に関する質問

- ① 若者へのアウトリーチ活動やリフレッシュ（リカレント）教育、人材育成等
- ② 社会に向けた広報活動（様々な情報発信や意見表明）
- ③ イベント（講演会、大会等）の共同開催
- ④ 産学連携支援活動
- ⑤ 学会共通で利用可能な投稿論文査読・管理システムの開発
- ⑥ 投稿論文査読者データベースの共通化
- ⑦ 電気電子情報系ジャーナルや論文誌等の共同出版
- ⑧ IEEE Xplore に相当する日本独自の論文データベース・検索システムの共同開発
- ⑨ 標準化や規格化活動
- ⑩ 支部活動

	望ましい	不 要	未記入
①	9	0	1
②	8	2	
③	10	0	
④	7	2	1
⑤	9	1	
⑥	7	3	
⑦	8	2	
⑧	6	4	
⑨	5	3	2
⑩	8	1	1

(2) 学会の国際化対応についての質問

① 国際的な企画、イベント等

すでに学会として国際的な取り組みを行っているという回答が多く見られた。

特に、アジアを中心とした国外の学会と連携し、国際会議を持ち回りで開催している例が複数示された。一方で、日本国内での国際会議の開催が減少しているという意見もあった。インパクトのある国際会議を日本国内で開催することは学会の価値向上に寄与するという観点から、国内の電気電子情報系学会の連携（共催）等の協働協創活動の強化が必要となるという意見が複数見られた。

② 英文刊行物（ジャーナルや論文誌）について

すでに英文論文誌を刊行している学会の例が多く回答された。インパクトファクターは平均として0.3～0.4程度であった。また、英文論文誌を刊行する点については肯定的な意見が多かった一方で、学会間で連携して英文論文誌を刊行することについては否定的な意見が多く見られた。特に、費用対効果や論文誌の価値の低下について懸念する回答があった。

③ IEEE との関係

すでに IEEE と協調関係を築いている学会は多く、国際学会の共同開催を実施している例が多く示された。また、IEEE の組織力を活用することで共催国際会議を円滑に運営できるという意見もあり、IEEE との協力関係を今後も持続させるという回答が多かった。これらの状況をふまえ、国内の電気電子情報系学会は今後どのような形で IEEE と関係を築いていくか見極める必要がある、という提案があった。

④ その他

アジアを中心に海外支部を設置している学会の例が示された。また、海外支部での活動を強化することは、海外における日本のプレゼンスを高めることに繋がるという意見が見られた。一方で、IEEE と日本の学会との Sister Society の樹立により日本の学会に所属するメリットが失われるという懸念も示された。

(3) 日本学術会議電気電子工学委員会へのご意見、ご要望

電気電子情報分野が社会に対して与える影響は大きいことから、電気電子工学委員会がハブとなり、内閣府や関係学会等に働きかけていくことを期待する意見が多く見られた。また、複数の科学技術の領域をまたがる複合領域においても、電気電子情報分野が橋渡し役になれることから、文理を超えた広領域での協働協創戦略を求める意見があった。