

本学における電気通信工学系実験の特徴とその変遷

和田 紀子, 水谷 孝男, 高橋 光生

Relevancy of Electric Circuit Experiments in The University of Electro-Communications from 1963 to 2018

Noriko WADA, Takao MIZUTANI, Mitsuo TAKAHASHI

Abstract

The University of Electro-Communications has many courses in Telecommunication Engineering experiments. Many of the departments have similar experiment classes for 3rd-year students, which include analog circuit, transistor, op-amp, and so on.

The purposes of this research are reveal the relationship of circuit experiments, and chronicle the origin of those. Most electric circuit experiments have one origin of basic circuit experiment from 1963 or before. After 1988, developed electric circuit experiments class have been open in the departments, and it still retain some remnants of former one now. And in several department curricula, all qualified academic credit on electric circuit experiments, electric and magnetic measuring, and radio experiment laboratory are required for radio operator and telecommunications engineer qualifications. The UEC inherits those spirit from the old experiments.

Keywords : Laboratory, Electric Circuits, Information Engineering, Qualifications

1. はじめに

2018年、電気通信大学（以下、本学）は創立100周年を迎える。旧来より長きにわたって無線通信従事者を養成してきた本学は、現在、『小さくても光る大学』と称し、小規模大学の強みを活かして世界水準の優れた研究活動を行う方向性を打ち立てている。いくつかの事例を挙げると、2002年に世界最高水準の研究教育拠点として採択された数学、物理学、地球科学における『コヒーレント光科学の展開』プログラムや、2013年に採択された研究大学強化促進事業など、近年は研究力の強化に向けての取り組みが展開されている。理系の単科大学であることを活かして、大学名に代表される電気、通信はもとより、成果が著しい光科学・光工学分野の他、情報、機械、ロボティクス、材料、生命分野まで、情報理工学を基盤とした教育・研究環境が特色である[1]。いずれの分野においても、本学の研究活動を支えるのは、秀でた先見の明と指導力のある教員のみならず、本学の特色あ

る教育を受けた学生達と、それを取り巻く教育研究環境の三者があつてこそといえる。

本稿は、本学の教育のうち、電気通信分野に対する分析・調査力の修得に寄与し、ほとんどの類で開講されているアナログ回路や電気、電子、通信系の実験を主として、起源や時代ごとの変遷や、特色ある研究専門分野とのつながりを明らかにし、記録することを目的とする。各実験課題については、現在の担当者や初期立ち上げ期の担当者へのインタビューと、資料や文献による時代考証による調査を実施した。後半は、実験科目と資格認定の関係についての文献調査結果をまとめた。

2. 本学の電気通信工学系実験の歴史と課題紹介

2.1 1963(S38)年から1987(S62)年頃までの実験

今回の調査において最も古く遡ることが可能であった年代となる。当時本学で行われていた専門基礎実験としての工学実験は、1959(S34)年に存在した全ての

学科とその後継である1966 (S41) 年以降の電波通信学科 (R)、通信工学科 (C)、応用電子工学科 (T)、電子工学科 (E)、経営工学科 (B)、機械工学科 (M)、材料科学科 (S)、物理工学科 (P) の必修科目であり、学生は、学科により1年または半年、最盛期は約500名の学生が一斉にE棟で実験を行うようになっていた。学内で工学基礎実験を運営する共通講座実験工学があり、そのうち回路実験を含む工学実験は、実験工学講座が課題の企画運営を行っていた。当時の学内の情景は、E棟の1階には、工学実験室や短大工学実験室などを含む工学実験関連の研究室が、2階以上には通信工学科の各研究室が配置されており、E棟の他には、生協、学生会館、保健管理センター、図書館、各研究棟、事務棟などが桜の木や松の木、栗の木の中に散在し、東地区と呼ばれていた。一般道を挟んで西地区には、体育館、学生寮、野球場、西1号館などがこの頃には敷設されていた。

その当時のE棟学生実験室は、一斉テレビ指導設備やインターホン設備、独自に製作した課題ごとの指導ビデオ自動放送設備 (MATIS) などの特色ある設備 (図1) を備え、多くの学生を一斉に指導できる体制を整えていた。

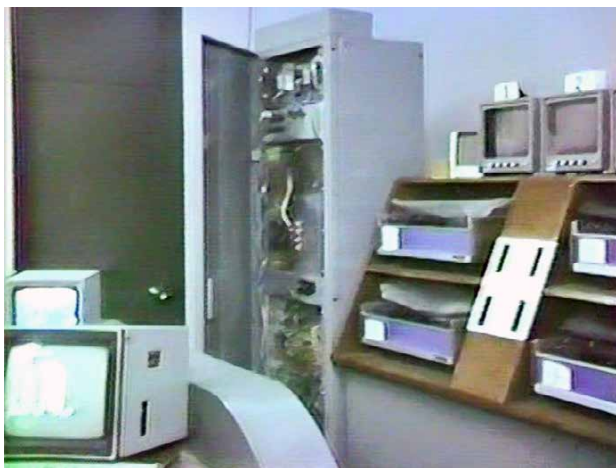


図1. 旧E棟 テレビ指導室

ここでの回路実験は真空管回路が主で、Geトランジスタの特性測定を開始した頃であった。当時、実験課題を検討していた実験工学講座の武井健三教授と田中清臣助手は、技術の変遷予測を取り入れ、どのように真空管をトランジスタへ変更するかを検討し、電源電圧の低電圧化とそれに伴う装置の更新を進めた。受け入れ体制の効率化も図られ、共通の実験設備、実験台を効率よく連続で、多くの学生が一斉に実験できるように計画した結果、電子回路実験に必要な実験装置 (計測器や電源) をラックに収め、実験台の集積化が推進された (図2)。実験ラックを用いた実験設備は西8号館アナログ回路実験設備において2018年度も健在であり、古くから続く電気、通信系アナログ回路実験を象徴する存在となっ

ている。

同時期には、ラックに組み込むための実験用汎用基板 (図3) とその差込み用パネルも発案、導入された。それ以前は、抵抗一つを付け替えるだけでも専用の治具を用いており、他課題内容との共用が困難であったが、パネル差込型の汎用基板を導入することにより、基板上に部品をはんだ付けすれば、あらゆる回路に対応できるようにした点が画期的であった。こちらも回路作製実習の用途で現在まで使用されている。



図2. 旧E棟 電子回路実験設備



図3. 実験用汎用基板

当時の記録を残した資料と文献[2][3]より、いくつかの年代の課題を紹介する。

【1963 (S38) 年】

全学科受講、学科により課題選択

- 基礎工学実験 (前期)
 - 直流検流計、磁化曲線、オッシログラフ、交流ブリッジ、動インピーダンスおよび動アドミタンス、直流電位差計、熱起電力、抵抗測定、サーミスタおよびバリスタ、トランジスタ静特性、整流器および整流回路、真空管の静特性、3極管の3定数、放電管、シリコン制御用整流器 (SCR)、電源安定回路
- 基礎工学実験 (後期)
 - 低周波増幅器、トランジスタ増幅器、可聴周波電力増幅器、高周波増幅器および中間周波増幅器、低周波発振器、高周波発振器、特殊波形 (マルチバイブレータ)、検波回路、振幅変調、アンテナ定数、光電効果、単相変圧器

【1974 (S49) 年】

R、C、T、E学科は前期後期全課題、B、M、S、P、N（機械工学第二）学科は電気工学実験（前期）として一部実施

●基礎工学実験（前期）

直流電位差計、光電効果、アンテナ定数、磁気測定1・2、交流ブリッジ、抵抗測定、オシログラフ、電子管、単相変圧器、放電管、整流器および整流回路

●基礎工学実験（後期）

トランジスタ1・2、トランジスタ増幅1・2、トランジスタ発振1・2、デジタル回路、振幅変調、検波回路、非安定マルチバイブレータ、双安定マルチバイブレータ、真空管増幅1、真空管発振

【1985 (S60) 年】

●工学実験第一（前期）R、C、T、E学科

直流電位差計1・2、磁気測定1・2、マイクロコンピュータ、抵抗測定、交流ブリッジ、電子素子の直流特性、光電素子の直流特性、波形観測、単相変圧器

●電気工学実験（前期）B、S、P学科

抵抗測定、交流ブリッジ、電子素子の直流特性、光電素子の直流特性、波形観測、単相変圧器、トランジスタの直流特性、増幅回路、発振回路、デジタルICの直流特性、波形整形回路

●工学実験第二（後期）R、C、T、E学科

アナログ系（トランジスタの直流特性、増幅回路、発振回路、振幅変調回路、検波回路）、デジタル系（ICの直流特性、波形整形回路、単安定回路、パルス発生器の構成、トランジスタのパルス特性）、プロジェクト実験（TTL IC、PLD、FPGA等を用いた実験）

時代の変遷による大きな変化は、1977年（S52）までに電子回路で真空管からトランジスタを使用するものに統一されたこととデジタルICの登場である。トランジスタを使うようになってからの電子回路実験は、実験用汎用基板を利用して、12週間同じ機器を用いて一斉に実験が行われていた。実験装置の数も、当初4名で1班だったものを2名または1名に対して割当てるなど、当時より設備の充実が図られていた。

2.2 1988(S63)年から2010(H22)年頃までの実験

1987年10月には学科改組があり、電子情報学科（C）、電子工学科（E）、電子物性工学科（F）、機械制御工学科（M）、情報工学科（J）の5学科が開設された。1988年には西8号館が新築され、旧E棟にあった学生実験室が移動された。この頃、旧学科定員の臨時増募や定員過剰、学科改組が重なり、R、C、T、E、B、S、P学科、過去最大の約550名もの学生を同時期に受講させた時期もあり、西8号館の新しい実験室にて対応した。旧

E棟からMATISの設備を移設するのが困難であったため、カラーモニタやVHSビデオデッキを導入し、新たにビデオ教材[4]を製作し、学生への貸出しを開始した。西8号館の2階から4階に割り当てられた実験室と放送用設備、共用貸出室などの付帯設備は、用途に応じて特別にあつらえられたものであった。

この時の新学科の入学者は学科によって2年生もしくは3年生より専門実験を受講した。新しい電子工学科の学生と旧学科の学生は引き続き西8号館で受講したが、改組後の新学科では学科ごとに独自に実験を行う方針とされ、学内での実験担当分化のきっかけとなった。その後も2010年に電気通信学部が情報理工学部となるまで、各学科の実験内容は改組があっても、この当時の学科ごとに行われていた実験課題を維持したものが多かった。

(1) 電子工学科の実験

新しい電子工学科の学生、昼間コース約200名と夜間主コース約40名は、3年次となる1990年より西8号館で実験を行った。科目名は「電子工学実験第一」「電子工学実験第二」とされ、課題内容はそれまでの工学実験第一・第二を引き継いだものが多かった。1995年後期から履修時期が早まり、2年後期から実験第一を受講する体制となった。実験第一・第二に加えて、個別の研究室が担当する専門実験、「電子工学実験第三」も開講されていた。

課題内容は、実験第一に物理学、電気回路、電磁気学など高校や大学1、2年次で学ぶ内容があてられ、実験第二ではAMラジオシステムの構成、パルス発生器の構成と利用、のように相互に関連し、アナログ電子回路の全体像が見渡せるような一連の課題が設定されていた。

このうちトランジスタ増幅回路の直流特性測定から設計、増幅特性評価は、電子工学科の実験を代表する題材であった。一般に解説されている増幅回路理論から一歩踏み込んで、安定して動作するバイアス抵抗値の選定方法や周波数特性の性能を決める要素などを予習として計算にて設計し、実装して実験する点が特徴である。

WWW（World Wide Web）が台頭し始めて間もない1995年頃より、事前学習や測定構成検討のためにWEBコンテンツを全国に先駆け充実させ[5]、これを参考に実験計画を立てるよう指導していた。WEBには詳細な事項解説や機器仕様情報の他、CGIを利用して学生が実験のシミュレーション（理論数値計算）、仮想実験、遠隔実験（実機の遠隔操作）を行うシステムや、指導者が利用するための成績管理システムが逐次導入されていた。同時期においては問題解決型学習を推奨しており[6][7]、学生は各々、予習の成果として実験準備書の提出が求められた。

第一、第二共通で使用する抵抗やコンデンサなどの実験に必要な部品や実験用汎用基板は、サービス室から借

り、実験終了時には返却していた。連続する実験期間中は金属製の引出しにそのまましまっておいて保管できるようにになっていた。

一方、実験室では、各実験台へのPCの導入は西8に移動してきた当初より進められていた。2008年、桑田正行准教授により、自動計測、測定データの処理・解析、シミュレーションなど教育方法（目的）に応じて一括してできる『ICT活用電子回路実験設備』が導入された。翌年、National Instruments社のLabVIEWが各実験台のPCに導入され、NI社のデータ収集モジュールを使用したPC制御直流計測器の提供を開始するなど、当時としては先進的な設備の導入がなされた。

実験課題の変化では、2007年以降、検波・変調回路の課題に代わって、ICソケット付き汎用基板に4回路入りTL074を用いたオペアンプの課題が追加された。

(2) 電子物性工学科／量子・物質工学科の実験

電子物性工学科（旧F）の頃の実験について当時の様子を調査することはできなかったが、量子・物質工学科（F）で行われていた実験内容については遡ることが可能であった。証言を得ることはできなかったが、1988年以降は他の学科と同じく、以降の年代の実験につながる内容であったと想定される。



図4. 旧量子・物質工学科 回路実験室

1999年に電子物性工学科から量子・物質工学科へと改組が行われた後、東6号館2階の学科用実験室（図4）では2年後期に「電子回路学実験」が開講されていた。電源付きのブレッドボードと電子部品、オシロスコープ、発振器、テスターのみで実験可能な課題であり、他の学科でも行われている回路実験に近い内容であった[8]。受講人数は約110名であったため、部屋の容積の都合によりX班とY班に分かれ、2人1班が隔週で実験と講評を交互に受講していた。2009年頃には、奥野剛史准教授らによってクリッカーとよばれるリアルタイム回答集計システムによる授業前の確認問題やeラーニングセンター提供のWebClassを用いたe-Learning教材の提供が

なされていた[9]。

[8][9]によれば、抵抗、キャパシタ、インダクタなどの基本的な受動素子の特性測定から始まり、ダイオードやトランジスタ、オペアンプ、論理ICなどの動作の基本を3時限分の時間で確認する内容となっていた。

3年以降の専門実験では、「物理・量子工学実験A」「同B」として「半導体ホール効果」や「強誘電体」、「真空蒸着」など全12課題を前期と後期でそれぞれ5課題ずつ、ランダムで割り当てられた課題を受講していた[10]。夜間主コースの学生は「量子・物質工学実験A」として3年前期に昼間コースの専門実験にあたる内容を受講した後、後期に「同実験B」として本学でよくみられるひとつとりのアナログ回路実験を受講した[11]。

(3) 電子情報学科／情報通信工学科の実験

1988年以降に学科ごとの実験となってから、新しい電子情報学科（C）では新規に専門実験が開始された。この頃より、3年前期の専門実験は“電子回路I（後に課題名は回路シミュレーション）”、“電子回路II（後にアナログ回路）”、“音声画像処理”の3課題とされ、その後も1999年以降の情報通信工学科（新C）に引き継がれた。

電子回路I（回路シミュレーション）は西1号館の電子計算室においてSPICEを用いて行われ、その次の課題である電子回路II（アナログ回路）と連動した内容とされた。

当時、新学科のアナログ回路実験の立上げにつき、岡育夫講師と矢加部利幸助手は実験課題のテキスト作成や試験測定、実験に必要な機器の新規購入など準備を進め、東地区のL棟で電子回路IIの課題が開講された。開始当初の内容は、3週間でトランジスタ静特性測定、トランジスタ増幅回路の特性測定、オペアンプ回路、さらにデジタル回路も用意されていたが、後に課題量の調整が行われ、デジタル回路は前期の内容から除外された。

回路実験で作製する回路部品の定数は、この初期の頃の試験測定により決定され、学生は指定の値を用いて回路を組み立て、測定を行った。使用しているトランジスタの型番は2SC1815Y、オペアンプは741で、2018年現在も同じ型番の物を用いている。当時のオペアンプはバイポーラトランジスタを用いた構造であったため、指導書に示されたデータシート中の内部回路動作も含め、動作を理解してもらう意図があったそうである。2008年頃までの指導書は文字による解説や指示が多かったが、学生の理解を深めるため石川亮助教の課題改善の結果、2010年からはRC回路の課題が加わって4週間の実施となり、指導書にもカラーで写真や図が多く加えられるようになった。

回路実験の実験設備は持ち運び可能な小型の装置が多かったこともあり、建物の改修のたびにL棟から西1

号館（2009年頃）、西1号館から東34号館（2012年頃）、その後また西1号館へと実験室を複数回移動していた。シミュレーション実験も西1の改修に伴い、総合研究棟（東3号館）へ移動し、現在に至る。

(4) 情報工学科の実験

情報工学科のハードウェア実験では、CRによるインピーダンス実験、トランジスタの特性測定の実験に加え、アナログフィルター、A/D・D/A変換、サンプリング定理、DFT、相関関数などの課題を含む波形データのデジタル処理実験が西1号館で行われた[12]。

2.3 2011年（H23）以降の実験

2010年（H22）、それまで電気通信学部としてきた本学の学部は、情報理工学部へと大きく変わった。総合情報学科（新J）、情報・通信工学科（I）、知能機械工学科（新M）、先進理工学科（S）、加えて夜間主コースとして先端工学基礎課程（K）の4学科+1課程となった。それまで、夜間主コースの学生は各学科の所属とされ、学科カリキュラムや実験もほぼ昼間コースと同じ課題内容であったが、この時点より新課程のカリキュラムとなり、学科とは区別されるようになった。各学科の専門実験は、前身となる学科の内容を引き継ぐ形となり、それ以前の複数の学科が融合してできた新J科やS科は、3年次の専門実験において以前の学科のいくつかの課題を融合して継続した。K課程については、3年前期に「専門基礎実験A・B」として旧学科C科とE科に由来する“アナログ回路”と、旧Jに由来する“プログラミング”の課題を前期のうち半期ずつ約100名が一斉に受講した。K課程後期の専門実験は選択したプログラムごとに、新J科や新M科の昼間コースに準じた課題を履修した。

続いて2016年には、大学院情報システム学研究所と情報理工学研究所が統合され情報理工学研究所となり、その一環として学部は3つの類と14の細分化されたプログラムから成る情報理工学域へと生まれ変わった。このように幾多もの変遷をしてきた学部であるが、実験においては学域をまたいで2009年までの各学科グループ、すなわち現在の大学院専攻ごとに内容を引き継ぐ形となったものが多い。このことは学部の専門実験の課題内容や専門機器の取り扱いが、研究室や大学院の専攻選択上必須とされる基礎事項を学ぶ機会として提供されているためと推測される。

現在大学院専攻ごとのグループとしては、情報学専攻（J専攻）、情報・ネットワーク工学専攻（I専攻）、機械知能システム学専攻（M専攻）、基盤理工学専攻（S専攻）の4専攻が存在している。改組後に入学した学生は、1年次に全員が基礎科学実験を履修した後、旧先進理工学科または現III類S専攻に属するプログラムでは2年次、その他の類では3年次より専門実験が開講されている。

このように旧学科からの由来をもつ電気通信工学系実験が本学の多くの類、プログラムで実施されている。今回の調査によりまとめられた記録に加え、現在の内容についても、後の時代への資料として紹介しておきたい。

(1) 先進理工学科/III類（基盤理工学専攻）、2年後期、専門基礎実験

1987年に設置された電子物性工学科（F）は、後に1999年に量子・物質工学科（新F）へ、さらに2010年に先進理工学科（S）、2016年にIII類となった。

標題の実験はこれらの学科・類で2年後期に開講されている。「電気・電子回路実験」（2011から2016年）、「理工学基礎実験」（2017年以降）という科目名で開講されている。新FからS学科と変わる際、3限分であった授業時間が2限分になった[8]。

それ以前は東6号館2階の学科用実験室で全て行われていたが、2011年からは西8号館3階実験実習支援センターアナログ回路実験室も利用し、約200名の学生に対応し、2015年には全員が西8号館にて受講する運びとなった。III類2年次進級者のうち、プログラム分けされた後の電子工学、光工学、物理工学、化学生命工学の4つのプログラム選択者の必修科目となっている。設備にふれる機会を十分確保する目的から、2名1班、XとYの2グループに分かれ、約100名ずつ隔週で実験レポート講評を受ける。若干内容を変化させながらも続くe-Learningによる事前学習や実験当日クイズ形式の確認スライドを用いて、基礎知識の再確認と当日の注意事項確認を行っている。

回路組立はブレッドボード上に部品を実装し、毎回目的の回路に組替えて測定する。最初は受動素子のみであるが、後半から、能動素子やロジックICも扱う。測定した素子や回路の特性は実験ノートに記録し、その場で手書きのグラフにまとめる他、西8の実験室には表計算ソフトの入った教育用端末があり、任意で数式処理やグラフ処理をさせて確認することもできる。

測定器の取り扱いやデータの記録方法、報告書のまとめ方など、実験に取り組む基本的姿勢や考え方を確立することを目的として2年次から実験を行っている。

【2017（H29）年】

●理工学基礎実験（2年後期）III類基盤理工学専攻グループ

インピーダンス測定（抵抗）、インピーダンス測定（キャパシタ、インダクタ）、共振回路、RC回路、ダイオードとトランジスタ、オペアンプ、論理IC

(2) III類 基盤理工学専攻物理系プログラム、3年、専門実験

III類の物理系（電子工学、光工学、物理工学の各プログラム）に進級した学生は、3年次、各グループ名を冠した専門実験を受講する。前期に“アナログ回路I”

を全員が受講し、後期では電子工学、光工学プログラム選択者のみ“アナログ回路II”を必修として受講する。2年の実験では基本的な直流特性を測定するのみであったトランジスタをさらに厳密に測定し、測定した個体ごとの特性に基づいて電流帰還バイアス増幅回路を設計・実装し、特性を測定する。こちらも西8の回路実験室(図5)を利用しているが、同時受講者数は最大で16名ほどである。学生は2週連続でこの課題を受講した後、別の課題へ移動し、学期中8つの課題から6つを受講する。

“アナログ回路I”では、1週目に直流特性と交流特性の測定、2週目に実験用汎用基板へのはんだ付けと伝達特性、周波数特性の測定を行う。週の合間に準備課題としてテキストに示された式と設計仕様を用いて電流帰還増幅回路を設計する。トランジスタ増幅回路を測定するのみならず設計から行う課題の設定は、1999年改組時の電子工学科で実施されていた課題を前身とし、永井豊助教らによってさらなる改良を加え踏襲した内容である。現在は専用ICやFETが台頭し、バイポーラトランジスタ増幅回路自体が回路の主要部分となる機会は減っているが、はんだ付け実習と非線形能動素子を使いこなすための基本的な概念の学習に効果があると推定される。所望の増幅度とするため、小信号増幅回路の式に交流特性測定結果より得られた h パラメータを用いており、個々のトランジスタの増幅性能に最適化された設計をしている。

後期の“アナログ回路実験II”は、情報理工学部となつてから永井豊助教によって新たに企画されたダイオードとオペアンプを用いた課題で、単純な増幅器以外の回路のいくつかから、レベルシフタやリミッタ、コンパレータ、絶対値回路など、電子部品を用いたアナログ非線形信号処理についての理解を目的とした題材が与えられている。こちらも2週間ごとの受講で、回路をブレッドボード上に構成し、直流特性測定と交流波形観測を行う。単なる受動回路や増幅回路だけでは構成するのが困難な、演算回路としての動作利点を確認する内容となっている。いずれの課題も旧E科でよく使用されていた型番の部品2SC1815とTL074、そして西8の回路実験設備が利用され、旧学科の内容を引き継いだ形跡が残されている。

他の専門実験課題は、後期よりプログラムごとに課題選択となり、光工学や光物性、電子物理、物性工学への基礎的な理解を深める実験課題が多く、プログラムごとに専門性豊かな課題が用意されている。

【2018 (H30) 年】

● III類 電子工学実験第一／光工学実験第一／物理工学実験第一 (3年前期)

温度特性、磁気ヒステリシス特性、アナログ回路I、デジタル回路、マイクロ波の実験、光学実験、半導体レーザー、真空蒸着

● III類 電子工学実験第二／光工学実験第二／物理工学実験第二 (3年後期)

プログラムにより下記から課題選択

MOS構造の特性評価、ホール効果・光伝導、X線回折、アナログ回路II、ゆらぎによる基礎物理定数の測定、マイクロプロセッサ、光物性、レーザー光と光回折、ファイバーレーザー、強誘電体、酸化物超電導、核磁気共鳴、微小領域の観察と元素分析



図5. 西8号館実験実習支援センター
アナログ回路実験設備

(3) II類 情報・ネットワーク工学系プログラム、3年、専門実験

I類とII類にまたがる情報・ネットワーク工学専攻系のグループのうち、II類の情報通信工学プログラムと電子情報プログラムへ進んだ学生が「情報通信工学実験A」または「電子情報学実験A」を受講する。この実験は電子情報学科の頃より続く3つの課題をほぼ引き継ぐ内容となっており、約40名の学生がローテーションで各課題を4週ずつ受講する(レポート指導と補充実験日は別途)。

実体での操作を行う“アナログ回路”の課題では、西1号館の実験室にて(図6)各回路をブレッドボード上に構成し、特性測定や波形観測を行う。装置の使い方や入力信号振幅、一部の部品値などは配布される実験指導書を参考に、ある程度自由に設定させているなど、手順や機器の調整を自ら考えさせる要因が多い。初回以降の回で提出が求められる計画書では、理論式に基づき計算することによって実験の結果を予測することができる。2週目以降は計画書に加え前回分の報告書の提出が求められる、一度指導を受け返却された後、最後の課題終了後に全てまとめて提出する。こちらの実験においても、トランジスタ増幅回路の課題が存在するが、バイアス抵抗は予め指定の値を用い、回路図の回路を再現して限られた時間内に手際よく測定し、得られた結果から特性に影響を与える要因を考えることに注力させている。

東3号館の教育系端末演習室にて行われる“回路シ

ミュレーション”では、アナログ回路でも取り扱っている回路を多く取り入れ、理論式から適切な値を求めて設計や解析させる内容を用意している。波形観測や動作解析、バイアス回路の動作点設計など、アナログ回路と合わせて相互理解を深めることを目的としている。使用しているソフトはCadance社のOrCAD Captureで、回路シミュレーションエンジンはPSpice系である。

一方“音声・画像処理”においても回路実験のように、ローパス／ハイパスと呼ばれる処理があり、前期を通じて電気的もしくは信号的処理に関する共通の概念や処理対象による効果の違いを考える機会になっていると推測される。

後期の「情報通信工学実験B1/B2」「電子情報学実験B1/B2」も、情報通信工学科当時の内容や実験装置をほぼそのまま継続したものが現在も開講されている。高周波の通信伝播や、デジタル信号処理に関する課題が多く見受けられ、学生は前期と同様3グループに分かれローテーションで“信号処理”と“論理回路とコンピュータ”の課題を必修とし、“情報通信”ではさらに3つのサブグループに分かれて興味のある課題を履修できるように柔軟性を持たせている。



図6. II類 情報・ネットワーク工学専攻グループ
西1号館アナログ回路実験設備

【2018 (H30) 年】

- II類、「情報通信工学実験A／電子情報学実験A」（3年前期）
回路シミュレーション、アナログ回路、音声・画像処理
 - II類、「情報通信工学実験B1・B2／電子情報学実験B1・B2」（3年前期）
情報通信（通信符号誤り測定、情報・セキュリティ、マイクロ波導波管実験から1つ選択）、信号処理、論理回路とコンピュータ
- (4) 知能機械工学科／II・III類 機械知能システム学専攻グループ、3年、専門実験
1999年からの知能機械工学科の実験内容を引継いだ

存在となるのが、2010年改組による知能機械工学科「知能機械工学基礎実験I」「同実験II」と、2016年改組以降のII類・III類にまたがる機械知能システム学専攻グループの「メカトロニクス基礎実験A（前期・II類）」「同実験B（後期）」、「知能機械工学基礎実験第一（前期・III類）」「同実験第二（後期）」である。

機械知能システム学専攻グループの専門実験は全部で12の課題があり、二つの類の学生が合同で24のグループに分かれ、1テーマにつき2週間ずつ実施する。各テーマは計測・制御システムプログラム、先端ロボティクスプログラム、機械システムプログラムの内容から構成され、通期で受講することにより全てのテーマを受講する。

近年のM専攻グループの実験においてもアナログ回路実験が存在するが、本調査初期の1966年当初から学科に必要な内容の観点で独自に用意された内容である。



図7. II・III類 機械知能システム学専攻グループ
アナログ回路実験機器

アナログ回路実験装置は市販の電源込みオペアンプ回路実験用キットとオシロスコープ、発振器を利用したコンパクトな構成（図7）で、一室で3班ごと2つのグループが反転／非反転増幅回路、アクティブフィルタ回路、ウィーンブリッジ発振回路、微分／積分回路の4種のうち2種の回路実験を1週ずつ実施する。回路実験用キットではバナナプラグ状のリード線や抵抗、コンデンサを結線させたい部分に接続することにより、オペアンプ回路を完成させる。キットの端子接続部には回路図が示され、回路図上の端子と実際のIC部品端子との対応付けが難しいオペアンプ回路を簡単に構成できようになっている。計測信号の処理や機械を動作させる目的に対し、基礎的なアナログ回路としてトランジスタを扱わずオペアンプ回路のみ学ばせている点で、他の学科と傾向が異なる。

(5) 先端工学基礎課程、3年前期、専門基礎実験

3年前期の専門基礎実験は、2010年入学の学生が受講する2012年より新規に開講された。前期前半の8週で“アナログ回路”を、後半の6週で“プログラミング”

が行われる。2017年度まではEMC（電子・機械・制御プログラムコース）/IMC（情報・メディア・通信プログラムコース）選択プログラムごとに、同時開講されている「専門基礎実験A」もしくは「同B」を、必修科目として約100名が一斉に受講した。2016年からは社会人学生のみとなり、1学年の受講人数は30名と大幅に減

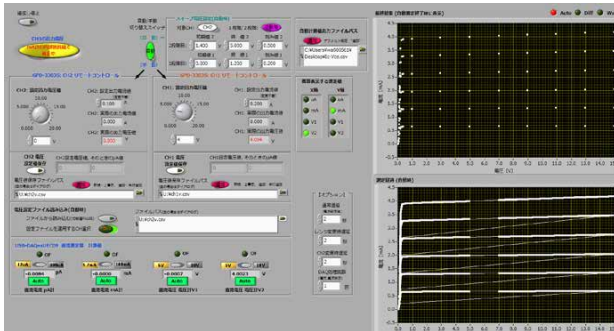


図8. 先端工学基礎課程 アナログ回路
PC制御計測器による特性の自動測定画面

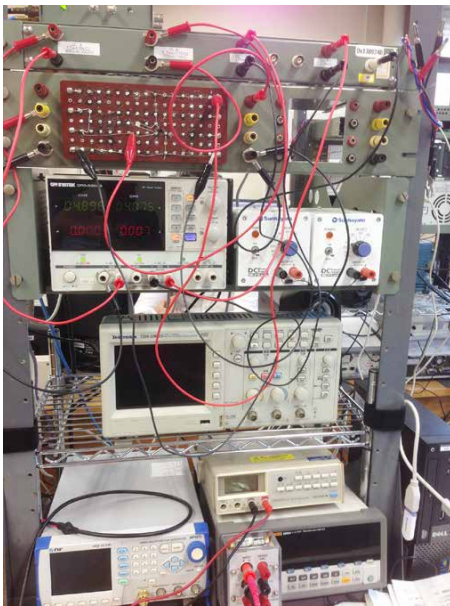


図9. 先端工学基礎課程 アナログ回路
実験用汎用基板上の回路および測定機器

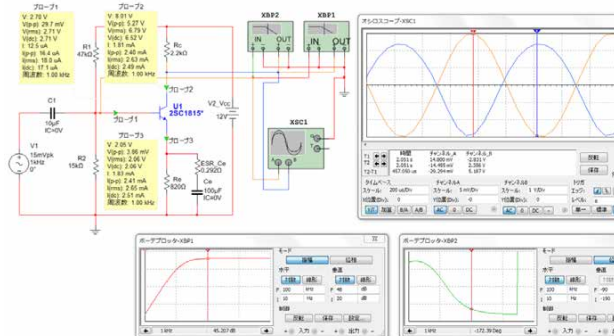


図10. 先端工学基礎課程 アナログ回路
回路シミュレータ コンソール画面

少し、アナログ回路実験とプログラミング実験の開講日はそのままに、科目上分離した。

アナログ回路実験は情報通信工学科のアナログ回路実験を元にして作られたが、西8設備の活用（図8、図9）と電子工学科の設計指導が融合した内容となった。実験方法の特徴としては、一つの実験室内でシミュレータを用いて設計を行った後に、これに基づき実際に回路を作製する点があげられる。実験者は、事前に予習問題として理論式による計算を行い、実験当日に求めた各素子（R or C）の値に近い部品の選定を行う。次にその値を回路シミュレータに入力し、シミュレータを使って最適な回路設計を行う。その後実際に回路を作製する。最後に、作製した回路の特性を測定し、シミュレータで得られた特性と作製した回路特性の比較検討を行う。このような実験を通じて、シミュレータの使い方を習得すると共に、実際に回路を作製しアナログ回路を学習するという、最近の開発現場に近い方法を実現している。

実験課題は、RC直列回路、トランジスタ回路、オペアンプ回路であり、それぞれの課題を上記の流れで行う。

使用しているシミュレータはNI社のMultisim（SPICE）（図10）であり、PC画面には回路図に加え、信号発生器や測定器などが表示され、各端子における時間波形、周波数特性（振幅、位相）等がオシロスコープ画像、ボーダ・プロッタ画像として動的に表示可能である。これとは別に、卓上には学内製の4CH同時測定とPC制御が可能な直流電流電圧計測器、ファンクションジェネレータ、オシロスコープ、電源等が用意されており、実験用汎用基板上にはんだ付けによって部品を実装し実験回路を作製する。

以上が本学で現在と過去、行われてきた情報通信工学系実験の特徴と起源であり、各専門研究分野の基礎として重要であることが、インタビューと文献調査により明らかとなった。

3. 実験科目と資格認定

本学は設立の起源が無線通信講習所であったことから、無線通信や電気通信に関する国家資格試験の試験科目の一部免除や申請による取得に強みがある。実験科目と試験科目の認定との関係について、本学学修要覧に加え、総務省（旧郵政省）で公開している情報を調査した。

3.1 無線従事者資格と実験

- 国家試験に関する認定では、以下の2つが存在する。
- i. “国家試験の一部免除”：認定校の所定の科目を履修して卒業した者が卒業後3年間申請によって国家試験の一部科目免除を受ける（無線従事者規則第7条）
 - ii. “科目認定”：大学，短期大学，高等専門学校，高等学

校又は中等教育学校において無線従事者規則第30条に定める無線通信に関する科目を履修して卒業後申請により資格の免許を受けることができる（電波法第41条第2項第3号）

iの試験の一部免除について、本学はH30年4月時点で、II類情報通信工学プログラム、電子情報学プログラム、III類電子工学プログラムにおいて試験科目内容に該当する本学の科目を所定の時間数以上履修し卒業することにより、第一級総合無線通信士（一総通）と第一級陸上無線技術士（一陸技）の試験科目「無線工学の基礎」の免除（一総通については英語も）を受けることができる[13]。学校が試験免除の認定を受けるための要件は無線従事者規則第十三条の規定に基づく学校等の認定基準（平成二年郵政省告示第二百七十九号）に示されており、別表第一号に示す科目の授業時間数を満たすと共に、無線従事者規則第十四条に示される大学と開講科目の詳細を届け出る必要がある[14][15]。免除認定につき実験科目と関係があるのは、電気磁気測定に該当する3年次の専門実験と実験設備である。電気磁気測定の具体例について、試験科目の参考書[16]の目次に示されている内容には、次のようである。

＜誤差、指示計器、測定範囲と測定波形、回路定数の測定、ブリッジ回路による測定、測定機器＞

これらの内容について、認定を受けている他大学等でも実験科目を電気磁気測定科目の授業時間に指定されることが一般的である。さらに、実験室の設備として申請時に教育実習実験設備の名称及び員数の申告に加え、無線実験室を含んでいることが要件として挙げられている。

一総通の免除可能な科目として電気通信術も存在するが、モールス信号の送受信に関する授業時間が426時間必要なことから、現在の学域ではこの科目の免除は認定されていない。

iiの科目認定について、総務省電波利用ホームページ[17]より認定可能な資格種別一覧（無線従事者規則30条）と科目認定校一覧に示されている過去の情報によると、本学の認定は、電波通信学科、電子情報学科、通信工学科、情報通信工学科、電子工学科、応用電子工学科、情報理工学部（全学科）、情報理工学域（全学域）において、第三級海上特殊無線技士と第一級陸上特殊無線技士の資格認定が認められており、平成11年以降は第二級海上特殊無線技士の認定も加わった。認定された科目名を分析すると、第二級海上特殊無線技士や第一級陸上特殊無線技士の認定には、電気電子計測または相当する内容の計測工学の講義もしくは実験科目の履修が必要であり、情報理工学部となってからは専攻によらずこれらの講義を履修（他学科履修を含む）できるよう配慮されていることと、以前は申請対象とされていたが学科による差が生じる実験科目は申請外となっていることが判明

した。短期大学については、陸上特殊無線技士の資格認定は二級までであったが、1987年に短期大学部が電気通信学部へ統合されて大学の扱いとなり、一級の資格認定を受けることができた。しかしその後先端工学基礎課程へと改組された際に、これら科目認定要件からは除外された。

無線従事者資格について、本学は前身である無線従事者養成校の名残りとして、いずれの年代においても大学の区分において認定可能な無線免許を可能な限り取得できるようにカリキュラムが生まれ、無線通信工学に関する講義・実験実習科目や設備を引き継ぐべきものとして重視してきたといえる。

3.2 電気通信主任技術者資格と実験

本学では、II類情報通信工学プログラム、電子情報学プログラム、III類電子工学プログラムの学生が所定の科目の単位を修得し卒業することで、電気通信主任技術者試験のうち「電気通信システム」科目免除の認定を申請できる。電気通信主任技術者資格は、伝送交換主任技術者と線路主任技術者の種別があり、上記科目は両試験に必要な科目とされる。

本学の平成30年度学修要覧と電気通信主任技術者規則[18]によれば、電気通信主任技術者の科目免除には、指定分野の科目に含まれる本学の科目を所定の授業時間数履修する必要がある。このうち、本学では電気計測の授業科目として、計測工学もしくはプログラムごとに開講されている必修の3年次実験を履修することが要件とされる。

電気通信主任技術者にどのようなスキルが必要とされるか、また試験科目との対応について[19]では主要技術項目の具体的なキーワードが示されている。電気計測に該当する内容としては、次の項目が示されている。

＜電圧測定、インピーダンス測定、電流測定、S/N測定、電力測定、減衰量測定、増幅度、周波数測定、周波数特性測定、光パワー測定、光波長測定＞

したがって、電気計測科目に該当する実験の課題では、これらの測定が内容に含まれるように配慮する必要があるが、認定を目的とせずとも本学の研究における重点分野に該当するため、専門実験においても自ずと専門の測定装置に多く触れる機会と設備環境があることが本学の電気通信工学系実験課題と設備の特徴である。

4. おわりに 調査を終えて

従来からの電気電子回路の基礎や電気通信、無線通信に関する科目と、それらの実践である電気通信工学系の実験は、本学の特色ある研究を支えるために多くの学科や学域で必要とされる知識であることに加え、本学での

学業を修め取得可能である資格の豊富さに有効であることが改めて確認された。

本調査は最初、これらのアナログ回路実験を担当する実験実習支援センターの技師らが、なぜこの実験課題が設定され教えられているのか、他の学科や類ではどのように実験が行われているのかを調査し情報共有することによって教育活動の参考とするために企画された。次第に、本学の電気通信工学系実験を長らく支えてきた初期の関係者が定年退職等により本学を離れてしまうことにより当時の状況や変遷、課題設定時の学習目的を知る機会が失われてしまうことに対し、記録を残しておく必要性を見出して調査を続けた結果をまとめたものが本稿である。多数の協力者による情報提供によって、1966年から2018年の間の実験課題の起源や変遷、現在に至る経緯を照会することができた。課題立ち上げ期の担当者の証言や、有志で残されていた古い資料により関係性が明らかになる以前より、現在の各担当者は課題や機材、託された想いを次の世代に伝える使命をもって実験科目の授業に臨んでいると考えられる。これらの実験をこれから受講される学生方や担当される先生方に、課題や実験装置の歴史を知り、電通大や本学での学修内容に対する誇りと内容への興味をもつきっかけとなれば幸いである。

謝辞

本稿の執筆にあたり、インタビューや資料提供に応じてくださった旧実験工学研究室／電子工学科ご担当の田中清臣先生、桑田正行先生、永井豊先生、藁科崇氏、電子情報学科／情報通信工学科／情報・通信工学科ご担当の矢加部利幸先生、石川亮先生、量子・物質工学科／先進理工学科ご担当の奥野剛史先生、知能機械工学科の東郷俊太先生、本稿執筆にあたりご助言をくださった前技師部長の渡辺昌良先生、技師部の高田亨統括、並びに本学の専門基礎実験、専門実験を支えてきてくださった教職員の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 電気通信大学：国立大学法人 電気通信大学概要 2017-2018版、(2017)
- [2] 電気通信大学 実験工学研究室：WEB資料 実験工学研究室の記録、(1996最終更新)
- [3] 実験工学研究室：Umaticビデオ教材、(1973-1977)
- [4] 電子工学科：VHSビデオ教材、(1987-1996)
- [5] 佐藤 純弘、田中清臣：WWW (World Wide Web) を用いた学生実験支援環境の構築／運用、電子情報通信学会信学技報、ET95-60、pp.109-116、(1995)
- [6] 田中清臣、桑田正行：問題解決型学生実験-実験課題と実施方法-、電子通信学会教育技術研究会資料、ET83-6、pp.35-40、(1983)
- [7] 田中清臣：電子工学実験用教材の製作意図、電気通信大学紀要 第19巻第1・2合併号、pp.35-44、(2006)
- [8] 奥野剛史、大家明広、山崎典昌、他12名：先進理工学科における2年次専門実験(電気・電子回路実験)の準備と実施について、電気通信大学紀要 第25巻1号、pp.73-78、(2013)
- [9] 奥野剛史、阿部浩二、山崎典昌、大家明広、五十嵐清、林茂雄：電子回路学実験(量子・物質工学科)におけるeラーニング実施について、電気通信大学紀要 第21巻1・2合併号、pp.59-66、(2009)
- [10] 大家明広：学生実験の指導とe-Learning用テスト問題の作成、2011年度 教育研究技師部業務報告、(2012)
- [11] 山崎典昌：2011年度業務報告、2011年度 教育研究技師部業務報告、(2012)
- [12] 水谷孝男：波形データのデジタル処理、情報工学科、工学実験指導書、(1990-2000)
- [13] 電気通信大学：学修要覧、平成30年度情報理工学域版、(2018)
- [14] 総務省：無線従事者規則、平成二年郵政省令第十八号、平成三十年三月二十九日公布(平成三十年総務省令第十四号)改正
- [15] 総務省：無線従事者規則第十三条の規定に基づく学校等の認定基準、郵政省告示第二百七十九号、平成二年五月十五日
- [16] 吉川忠久：第一級陸上無線技術士試験 やさしく学ぶ 無線工学の基礎、オーム社、(2008)
- [17] 総務省：電波利用ホームページ 無線従事者関係の認定学校等一覧、<http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/operator/oai/> (2018年8月9日アクセス)
- [18] 総務省：電気通信主任技術者規則、昭和六十年郵政省令第二十七号、平成二十九年十月二十五日公布(平成二十九年総務省令第七十二号)改正
- [19] 総務省 IPネットワーク管理・人材研究会ワーキンググループ：電気通信主任技術者スキル標準、平成22年10月 公 示、http://www.soumu.go.jp/main_content/000086013.pdf (2018年8月9日アクセス)