

3. 電気電子工学科

電気の使用に由来する災害は、電気電子工学科の教職員・学生のみならず、広く全学的に重要な問題である。一口に電気災害といってもその内容は多岐に亘るが、最も身近で重大な影響を及ぼすのはやはり感電災害であろう。更に、直接人体に電流が流れなくても、電気火花や漏電による火災、爆発等も人命にかかわる重大事故を引き起こす。また、電動機、発電機などの回転機器、レーザーや紫外光源等の照明機器、その他種々の機器を使用する際に、使用法を誤ったり、注意を怠ったりすると、やはり重大な事故につながる。

本章では、電気電子工学科（あるいは関連学科）において安全管理上重要となる、感電及び電気災害の基礎的な事項について述べる。更に電気電子工学実験や各分野における研究上必要と考えられる注意事項について述べる。

3. 1 感電^{1, 2)}

3. 1. 1 感電についての基礎知識

電気が直接人体に及ぼす危害としては、電撃によるショック、電気火傷、電撃死などがあるが、その影響の度合は電圧値よりも人体中を流れる電流値とその通電時間に依存する。感電は、マクロショックとマイクロショックに分類できるが、この前者は我々が想起する感電で、電流が外皮を通して体内に流入する際のショックであり、後者は医用電子機器の使用などで体内へ電極を挿入する場合に直接体内組織に電流が流れる際のショックである。この後者の特徴は、前者に比し桁違いに小さい電流値でも命にかかわる危害を与えることであるが、以下では我々により身近なマクロショックに関する基礎的事項をまとめる。

(1) 人体の抵抗

人体は抵抗値の高い皮膚部分と抵抗値の低い内部組織部分とに分離できる。その等価回路を図1のように考えると、その皮膚部分に相当する抵抗分 r とキャパシタンス分 C の値は $10^4 \sim 10^5 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 及び $0.01 \sim 0.05 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ である。一方、内部組織部分は純抵抗 R で近似でき、その固有抵抗値は $100 \Omega/\text{cm}$ 程度である。この皮膚の抵抗値 r は、乾燥の度合に著しく依存し、例えば発汗により $1/10$ 程度に低下する。また高電圧が印加されると、たとえ乾燥していても絶縁破壊を生じて r が短絡状態になり、危険度が非常に高くなる。

ゴム製の絶縁靴や絶縁手袋の着用は、皮膚に代わって絶縁性を確保するための非常に有効な手段である。

(2) 電流が人体に及ぼす作用

電撃が人体に及ぼす生理的効果は、電源の種類（直流、交流、高周波、断続電流、インパルス電流など）、電流の通路及び通電時間などにより大きく異なり、また体質、体重、性別などにより受ける影響は異なる。

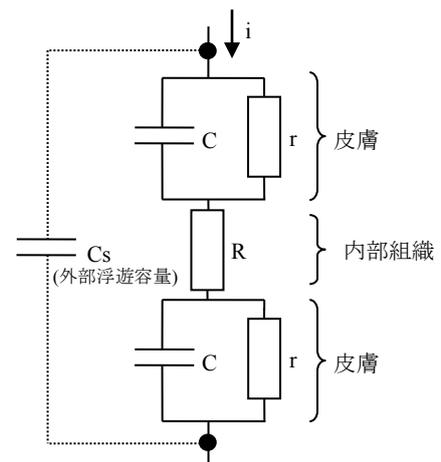


図1 人体の等価回路

表 1 電流が人体に与える生理的効果

症 状	D. C.		A. C.			
			60Hz		1000Hz	
	男子	女子	男子	女子	男子	女子
	mA	mA	mA	mA	mA	mA
最小感知電流, 少しちくちくする	5.2	3.5	1.1	0.7	12	8
苦痛を伴わないショック, 筋肉の自由がきく	9	6	1.8	1.2	17	11
苦痛を伴うショック, ただし, 筋肉の自由はきく	62	41	9	6	55	37
苦痛を伴うショック, 離脱の限界	76	51	16.0	10.5	75	50
苦痛を伴う激しいショック, 筋肉弛直, 呼吸困難	90	60	23	15	94	63
心室細動の可能性あり						
通電時間 0.03sec*	1300	1300	1000	1100	1100	1100
〃 3.00sec	500	500	100	100	500	500
心室細動が確実に発生	上記の 2.75 倍の値					

*図 1 中の Cs のバイパス効果も加わって急峻パルスの電流限界値は高い。

標準的な場合の電流値と生理的効果の関係を表 1 に示す。電流値が最小感知電流を越えると感電刺激が知覚される。例えば成年男子では、60Hz 交流電圧において約 1mA の電流でちくちくした刺激を感じる。電流がより増加すると筋肉が痙攣して苦痛を伴うようになり、ある限度を越えると筋肉の自由が失われ、自力で電源から離脱できなくなる。電流が更に増加すると、呼吸困難、意識の喪失、窒息、心臓障害、火傷などが生じて重大な事態に至る。特に電流が心臓部を流れると（例えば、左手から右手へ、あるいは手から足へ）心筋が痙攣を起し、電流から離脱できても心臓が正常の拍動を回復せず心室細動と呼ばれる異常が生じ、血液のポンプ作用がなくなる。この心室細動が 3 分間以上継続すると、脳死状態になると言われている。

以上のように安全対策上重要となる電流値は、最小感知電流値、筋肉の自由のきく限界である離脱電流値及び心室細動を発生させる電流値である。

3. 1. 2 感電の原因と対策

感電の発生は、使用者（実験者）の不注意や誤操作によるものと、電気設備の不備によるものに大別できる。前者は安全確保に対する意識の高揚、注意事項の徹底、複数者による実験、指導者によるチェックの強化等の対策により予防できる。以下に、感電の原因となる電気設備の不備、感電を免れるための正しい操作法等についてまとめる。

(1) 絶縁不良

配電盤から使用する装置・器具の末端に至るどの部分でも、絶縁不良点があればトラブルの原因となり、人体が絶縁不良部に触ればもちろん感電する。また直接接触なくても漏電の原因となり、電気火災等重大な事故につながる。特に裸線による配線や導線露出部を宙吊りとした配線はさける。また配電盤におけるナイフスイッチ等の露出部のある器具の操作には十分に注意する。実験時には作業着等の着用により皮膚の露出部をできるだけ少なくする。特に夏期の半ズボン姿や、素足の状態で実験することは厳禁である。

(2) 接地不良

電気器具・装置の接地が不十分であると、予想外の場所に高電圧が現れ、感電の原因となる。多くの機器や設備に設けられている「接地端子」は確実に接地しなければならない。接地端子がない機器の場合、一般的には外側の金属ケースが該当するので、確認のうえ接地を

行う。最近、0A 機器等でも接地ピン付のコンセントプラグが多用されており、これを使用することが望ましい。接地経路が途中のテーブルタップ等で途切れていないことを確認する。

(3) コンデンサーの取扱い

高電圧コンデンサーでは、両端子を一度短絡して放電させても、端子間を開放に戻すと内部の誘電体から吸収電荷が現れ、再び高電圧に復帰するので注意を要する。コンデンサーを含んだ回路に触れる際には、両端子間が確実に短絡接地状態になっていることを確認する必要がある。また、部品として保管する場合は、端子間を短絡しておく。

(4) 高電圧の取扱い

高電圧でも電源容量が小さければ必ずしも危険ではないが、取扱いを誤ると大事故につながるので十分な注意が必要である。

(5) その他

電気機器、設備の誤用は、当然のことであるが事故につながる。特に、定格電圧、定格電流を越えて使用すると、焼損や絶縁破壊が生じ、電気火災、漏電、感電などの事故につながる。また、ネジが緩んだスイッチやプラグ、締め付け不良の端子等にも十分な注意が必要である。使用している器具に流れる電流が定格内であっても、プラグ等に締め付け不良があると接触抵抗が非常に大きくなり、その部分が過熱して電気火災や漏電の原因となる。このような事故を未然に防ぐためには常時点検補修が必要である。

3. 1. 3 感電時の応急処置

(1) 感電者の離脱と電源の遮断

3. 1. 1 節で述べたように、離脱限界値以上の電流が人体に流れると、自分で接触感電部分から離脱できなくなる。従って、感電者が離脱不能の状態になれば、直ちに他人が力を貸して離脱させる必要がある。このような必要性から、ある規模以上の電気実験は複数人で行うのが望ましい。

もし離脱不能の感電者が出た場合、あせる余り救助者自身も感電することがないように細心の注意を払わねばならない。つまり救助者は、絶縁手袋や絶縁靴を着用するなどして大地からの絶縁レベルを高めた後に、感電者に触れる必要がある。もし救助者の大地からの絶縁が不十分であれば、感電者に触れる前に電源を遮断しなければならない。感電者の離脱と電源遮断を適切にしかも速やかに行うためには、非常時を念頭に置いた機器・設備の配置と整備及び実験者の日頃の訓練が必要である。

(2) 感電者に対する応急処置

感電者を離脱させ、電源を遮断した後、感電者の呼吸状態、脈拍の状態を確認の上、救急医の手配を直ちに行う。

感電者が失神状態に陥っている場合には、人工呼吸と心臓マッサージを行う（「救急車が来るまでに」を参照）。これには若干の専門的知識と訓練が必要である。

失神状態に陥るほどでなくても、感電者は皮膚や体内組織に火傷を負っている可能性が高い。症状が軽度のように思われても、医師による十分な検査と治療を受ける必要がある。また火傷以外にもショックによる転倒や転落も考えられ、外傷や打撲傷を負っている可能性が高い。これらに対する応急処置あるいは医師による治療も必要である。

3. 2 感電以外の災害²⁻⁵⁾

電気電子工学実験及び研究室での実験や作業において、感電以外に予想される災害を以下に挙げる。

3. 2. 1 火 災

絶縁不良や配線の不備等は、感電のみならず漏電やそれに伴う電気火災の原因となる。日頃からの検査、点検及び接地の確保が重要である。火災発生時の対応については、第2部第2章を参照されたい。

3. 2. 2 回転機等による機械的災害

発電機や電動機等の回転機を操作する場合には、手や足等の身体そのものや衣類の巻き込みに十分注意しなければならない。従って裾の長い作業着やネクタイ等の着用は避けた方が良い。なお、実験中に無理な姿勢をとらなくてもよいように、測定器類や配線の配置に配慮すべきである。なお、複数人で実験を行う場合は、他人の行動にも十分注意を払うことが必要である。例えばスイッチ投入時は、お互いに声を掛け合って、安全を確認してから操作を行う。機械別の注意事項が第1部第1章7節「工作技術センター」に記載されているので、参照されたい。

3. 2. 3 レーザー光線等による眼や皮膚の傷害

赤外線、紫外線やマイクロ波等は、眼や皮膚に傷害を与えることがある。また、高いパワーのレーザー光線が直接眼に入ると失明に至るので、強い光は直視してはならない。必要に応じて保護眼鏡を着用するのがよい。また近年、コンピューターのディスプレイを長時間見つめることによる視覚障害や神経障害が増加しているので、十分な休養時間を取ることで、このような障害を未然に防がなければならない。レーザー光線および有害光線については、第1部第2章5節にも記載されているので、参照されたい。

3. 2. 4 化学薬品や高圧ガスによる災害

電気電子工学科の中でも、電気材料や物性又は電気エネルギー関連の実験を行う研究室では、種々の化学薬品や高圧ガスが用いられる。これらの毒性や腐食性による事故や爆発火災事故が生じると、研究室内のみならず、周囲も巻き込んだ大惨事となりうる。3. 4. 1節の電子物理工学講座研究室の安全対策の所で、具体的な注意事項が述べられているので参照されたい。また、毒物・劇物は第1部第2章1節、廃液・排水処理は第1部第2章2節、高圧ガスは第1部第2章6節に記載されているので、参照されたい。

3. 3 初年次セミナー、導入ゼミナール、学生実験における注意事項

電気電子工学科では、初年次セミナー、導入ゼミナール、電気電子工学実験Ⅰ(及び安全指導)～Ⅳ(以降実験Ⅰ～Ⅳと略す)及び卒業研究の履修が、必修科目として課せられている。卒業研究の遂行上生じる障害は研究分野によって異なるので、3. 4節の研究室での安全対策の項を参照されたい。ここでは、初年次セミナー、導入ゼミナール、実験Ⅰ～Ⅳを行う上での留意点を挙げておく。

3. 3. 1 初年次セミナー、導入ゼミナール

初年次セミナーおよび導入ゼミナールでは、学生が自主的に課題を決定するので、学生によっては電子工作等を行うことがある。使用する器具は課題によって異なるが、一般的に以下のことに注意して作業を行う必要がある。

- (1) 工具は定められた場所に正しくおくこと。
- (2) 濡れた手で作業したり、飲食しながら作業したりしないこと。

(3) 回路の接続は十分に点検し、電源は最後に接続すること。

(4) はんだ付け作業をするときには下記に注意すること

- ① 火傷に注意すること。万一火傷をした場合には、ただちに冷水で冷やし、教員に連絡すること（第2部第6章を参照）。
- ② ハンダごてを長時間使用しない場合には、電源コンセントから抜いておくこと。
- ③ ハンダごてを置く耐熱支持台を用意すること。机の上に直接置かないこと。
- ④ ハンダごてのコードに触れてハンダごてが落ちることがないようにすること。

3. 3. 2 電気電子工学実験Ⅰ及び安全指導

主として電氣的計測の基礎及び電気回路の基礎に関する実験を行うので、使用する機器等の定格値は低く、通常の操作を行う限り、危険度は高くない。しかし、これまでに述べてきた注意を怠ると、使用器具の破損はもとより、重大事故にもつながるので、特に以下の点に注意して実験を行う必要がある。

- (1) 精度の高い良好な実験結果を得るために、器具を慎重に取り扱う習慣をつける。
- (2) 実験の間違いや器具の破損を防ぐため、測定理論、使用器具・回路の実際について十分な知識を得、実験手順を十分に検討した後、実験に着手する。
- (3) 回路の接続誤りが無いか慎重に点検し、電源回路は最後に接続する。
- (4) 計器の焼損事故を防ぐため、電源投入直後における回路の異常発生の有無に注意を払う。

3. 3. 3 電気電子工学実験Ⅱ

実験Ⅱでは、実験Ⅰの基礎の上に立って様々な実験を行う。ここで特に注意を要するテーマは、直流電動機、同機器などの回転機に関するものと、光に関するものである。前者では、定格電流・電圧が比較的高いため、感電予防に対する配慮はもとより、回転機による機械的災害を受けないよう、服装等にも十分な配慮が必要である。以下に具体的な注意事項を示す。

- (1) 機器の主回路の接続には十分な電流容量を持つ電線を使用し、電線の過熱に基づく事故を防ぐ。
- (2) 低すぎる印加電圧や重い負荷状態での電動機の起動は避けて、電動機巻線の過熱による焼損事故を防ぐ。
- (3) 高電圧の充電部分からは十分な絶縁距離(少なくとも1cm/5kV以上)を取って実験を行い、空気中の放電その他による感電事故を防ぐ。
- (4) 電源スイッチの投入に際し、高電圧部分に近づいている者がいないことを十分確認して、感電事故を防ぐ。
- (5) 万一高電圧部分に触れても、人体に流れる電流を無難な値(1mA以下)に抑えるために、絶縁性の良いゴム底靴をはく。
- (6) 光回折と分光器に関する実験では、小型のレーザーを使用するが、この際にレーザー光源からの光が直接または反射光が目に入射しないように注意しなければならない。

3. 3. 4 電気電子工学実験Ⅲ,Ⅳ

包括的な内容を含む総合実験は、個別テーマより高度で専門的になるので、実験内容に応じて3.4節で述べる研究室での安全対策の項を参照すること。

3. 4 研究室での安全対策

3. 4. 1 電子物理講座研究室（材料関係）

電子物理講座の材料関係の各研究室では、半導体材料をはじめとする種々の物質を扱い、試料の作製から物性測定まで広範囲な実験的研究を行っている。ここでは、各研究室にほぼ共通すると思われる安全対策について述べる。研究テーマによっては更に高度な知識と経験が要求されるので、種々の文献を参照して、安全対策について学んでおくことが必要である。

(1) 危険な物質の取扱い³⁾

危険な物質とは、火災、爆発、中毒の恐れがあるもので、主なものは法令によって規制されている。大きく分類すると、発火性物質、引火性物質、爆発性物質、有毒性物質に分けられる。これらの分類、取扱い方に関する詳しい説明は、本手引の応用化学科の章及び文献³⁾にあるので熟読されたい。一般的な注意点は以下のとおりである。

- a. 使用する物質の性状、特に火災、爆発、中毒の危険性をよく調査研究した後でなければ、危険な物質を取り扱ってはならない。
- b. 一般に、危険な物質の貯蔵では、直射日光を避けた冷所を選び、異種物質を混入しないようにし、火気や熱源から隔離しなければならない。
- c. 多量の危険な物質の貯蔵では、法令に従って所定の貯蔵庫に類別する。また、毒物及び劇物取締法で規定される毒物、劇物は薬品棚に施錠して保管しなければならない。
- d. 危険な物質を使用するときは、できるだけ少量とする。また、未知の物質については予備試験をすることが必要である。事前に災害の防護手段を考えて、万全の準備をしなければならない。例えば火災や爆発の恐れがあるときは、ゴム手袋、防毒面、防毒衣等を着用する。
- e. 使用後の薬品やその含有物の処理、廃棄には十分注意しなければならない。廃液処理に当たっては、「神戸大学排水水質管理及び薬品類廃棄物処理規程」及び「神戸大学工学部環境保全要項」を熟読の上処理し、必要な場合には環境管理センターに処理を依頼する。⁶⁾
- f. 危険な薬品の紛失や盗難にあった時は、事故が起こる恐れがあるので指導者に届け出なければならない。

(2) 危険な装置の取扱い

危険な装置及び予想される災害の種類は、表 2 のとおりである。それぞれについて安全対策は異なるので、自分の使用する装置ごとに十分な知識を得てから、実験を開始しなければならない。文献³⁾に個別の注意事項が詳しく書かれているので熟読されたい。放射線や X 線装置については、第 1 部第 2 章 4 節を参照のこと。

表 2 危険な装置

装置の種類	災害の種類	装置の例
電気装置	電気によって感電、火災、爆発などが生ずる。	各種測定機器、配電盤
機械装置	機械的な力によって傷害が生ずる。	旋盤、グラインダー
高圧装置	気液体の圧力による傷害が生じ、続いて爆発火災等が起こる。	オートクレーブ、ボンベ
高温低温装置	感電、火傷、凍傷。また、火災、爆発などが起こる。	電気炉、極低温装置 ハンダごて
高エネルギー装置	感電、火傷、失明、放射線障害など。	レーザー、X線装置
ガラス器具	ガラスによる切傷を与える。	

(3) 高圧ガスボンベの取扱い

高圧ガスボンベの取扱いでは、以下のような注意が必要である。

- a. ガスの種類と特性を十分に把握する。
- b. ボンベは専用スタンドに立ててチェーン等で上下2箇所を固定したものを壁際等に設置する。
- c. ガスボンベの近くでは火気厳禁とする。
- d. 適切な圧力調整器を使用する。特に酸素は油脂と反応して発火するので、専用のものを用いる。
- e. 容器交換、配管の変更後等には、漏れ探し液などを使用して漏れ検査を十分に行う。

(4) その他

個々の物質、装置の取扱いも大切であるが、実験室全体の配置や整頓が悪いと思われぬ事故につながる。常に整理、整頓、清掃を心掛け、万事が正常状態か否か常に疑うことが必要である。また実験室の換気が時として問題になる。例えば、密閉された実験室で大量に液体窒素を使用すると、蒸発した窒素によって酸素欠乏状態となり窒息死を招くので、十分な換気を行わなければならない。

3. 4. 2 電子物理講座研究室（エネルギー関係）

エネルギー関係の研究室では、比較的大きな定格電力（大電流、高電圧）を持つ機器を取り扱うため、万一事故が発生すると大きな被害をもたらす可能性がある。実験にたずさわる全員がこのことを十分認識して、前節までに述べた種々の注意事項を守りつつ、更に下記の事項を念頭において実験を進める必要がある。また、材料関係の実験室で見られる設備、例えばガスボンベ、高輝度光源（紫外線ランプ・レーザ）、真空装置、各種薬品・溶剤などの使用が増加しつつある。さらには、研究面の必要上や経費節減のため、種々の工作機械を利用して、実験器材・器具の一部を教職員や学生が自作している。従って、電気電子の学生・教職員でも、化学・機械その他の分野における安全管理マニュアルも熟読して、研究室における事故発生を未然に防ぐよう日頃から努力しておくべきである。

(1) 高電圧機器の取扱い

1 気圧大気中に平均電界値が 5kV/cm 以上となるような不平等電界領域が生じると、電極近傍のみの部分放電が発生し、さらには火花にまで放電が進展する現象が生じる。このような場合、充電部分に接触していない人体でも、空間の火花放電路を通して感電する事故が生じ得る。従って、高電圧充電部分には視覚的に目立つ表示を行い、また必要な空間絶縁距離以内に人が近付けないような機器配置及び高電圧配線などを行った後、実験を始める必要がある。なお、高電圧電極部に触って整備・調整を行う場合には、共同実験者が電源スイッチを投入するような、誤操作が生じ得ない制御システムを確立しておくことも重要である。

また、直流高電圧発生回路に通常含まれている高圧コンデンサーには、残留電荷放電回路を設けて置くか、実験終了直後に必ず残留電荷の放電操作を行う必要がある。もしそれらが不十分であれば、実験終了後数十時間を経過しても、高電圧がコンデンサーに残る場合がある。あるいは放電用抵抗が繰り返し放電により焼損断線して、コンデンサーに長時間高電圧が残る場合もある。従って、残留電圧による感電事故を防ぐため、高電圧用コンデンサーに触る前には必ず端子間を短絡する習慣を身に付けて置くことが必要である。

大気中の湿度が高く、表面に塵の付着がある場合、高電圧用絶縁物表面に漏れ電流が流れ

て、その発熱効果により生じた乾燥帯において微小ギャップ放電が発生し、それが火災その他の災害をもたらす原因にもなる。塵の付着に対しても配慮が必要である。

基本的事項としては、実験室の常時整理・整頓が重要である。整理・整頓されていると、配線状況の確認が行いやすく、安全管理が容易となる。

(2) 電力変換関連機器の取扱い

電力変換に関する研究対象としては、種々の高周波利用機器、マイクロ波利用機器、高電圧利用機器の開発・改良・利用がある。従って、前項の高電圧による感電予防の諸注意を念頭に置くことが必要である。さらに、マイクロ波利用機器では漏洩電磁波が身体に影響を与えないように十分な遮蔽を行う必要がある。また、高周波に関わる機器において、比較的大きい高周波電流が流れる場合は、周囲導体への電磁誘導効果が大きいため種々の障害が発生することがある。また漂遊静電容量を通じて絶縁物表面に静電誘導電圧を発生させる現象も障害発生の一因となる。

例えば、電力用半導体応用として電動機制御を行う場合、これらの電磁、静電誘導障害により制御用パルス列が予想外の雑音障害を受けて誤作動が生じる可能性がある。その場合に制御系が暴走して、電動機が定格をはるかに越える過速度状態になる危険を防ぐために、制御異常の状態においても安全側の動作を行うような制御回路のハード・ソフトの設計・運用を心がける必要がある。

3. 4. 3 電子情報講座研究室

この研究分野で使用する機器としては、100V で比較的小電流の商用周波交流を電源とするものが殆どである。従って、比較的安全管理上の問題点は少ない。しかし、そのために安全管理の意識が低く、電子回路の試作その他で、誤って100Vの交流電源に触れることがある。その際、周囲条件が悪ければ、表1で示した離脱限界電流値を越える感電事故も起こり得る。また静電気帯電に基づく感電によるショックを受けることもある。従って、使用機器の接地端子は必ず配電盤の接地端子に接続するよう心がける必要がある。なお、電子回路製作その他で使用するハンダごての取扱いに注意を払い、電源の抜き忘れや耐熱支持台からの脱落などによる火災発生が生じないように注意する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 静電気学会編，“静電気ハンドブック” 静電気学会（1981）
- 2) 横浜国大工学部安全委員会編，“実験・実習における安全の手引”（1990）
- 3) 化学同人編集部編，“実験を安全に行うために” 化学同人（1987）
- 4) 近藤正夫編，実験物理学講座“研究室づくり” 共立出版（1987）
- 5) 立花太郎，古賀正三編，“実験室における電気技術ハンドブック” 東京化学同人（1985）
- 6) 工学部学生便覧，工学研究科学生便覧