

200501010A

厚生労働科学研究費補助金

労働安全衛生総合研究事業

200V配線推進に伴う感電災害・電気火災等の予防に関する研究

平成17年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 富田 一

平成18（2006）年 4月

目 次

I. 総括研究報告	
200V配線推進に伴う感電災害・電気火災等の予防に関する研究-----	1
富田一	
II. 分担研究報告	
1. 200V配電系に必要な接地抵抗の検討 -----	3
高橋健彦	
2. 200V配電系絶縁材料の絶縁劣化評価 -----	6
本山建雄	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表 -----	8
IV. 研究成果の刊行物・別刷 -----	9
1. 感電災害の分析（電気設備学会） -----	9
2. 医療機器の接地システム（電気設備学会） -----	13
3. シリコン加工砂利の抵抗率（電気設備学会全国大会） -----	19
4. シリコン加工砂利の抵抗率（電気設備学会研究速報） -----	21
5. 建築電気設備における接地技術(OHM) -----	23
6. 内線規程の改訂に伴うこれからの住宅電気設備（前編）(OHM) -----	25
7. 内線規程の改訂に伴うこれからの住宅電気設備（後編）(OHM) -----	33
8. 電気設備における日韓の比較（電気設備学会全国大会） -----	37
9. 日韓の電気事故に関する一考察(安全工学研究発表会) -----	38
10. 低圧配電の昇圧化に伴う電気火災・感電事故の分析（電気設備学会） -----	43

厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）

総括研究報告書

200V配線推進に伴う感電災害・電気火災等の予防に関する研究

主任研究者 富田 一 （独）産業安全研究所研究企画調整部 主任研究官

研究要旨 需要家が直接負荷機器を接続して使用できる電圧（以下、使用電圧という）の200Vへの昇圧化を円滑に推進するために必要な感電防止対策の方向性を把握する目的で、我が国で発生した感電災害事例78件について分析した。その結果、感電災害が発生した事業場の規模、感電災害を誘引したハザード因子、実際に現場で実行された以外に感電リスク低減に必要とされる方策や使用された機器について損傷等の有無の割合が明らかとなった。特に感電災害防止には、今後基本的な対策が適切に実行される安全管理体制の確立の重要性が明らかとなった。

分担研究者

高橋健彦
関東学院大学
教授

本山建雄
独立行政法人産業安全研究所
部長

られる対策手法の検討を行った。これらの結果から今後の有効な感電防止対策の方向性を検討する。

（倫理面への配慮）

倫理面に問題はない。本研究の対象は絶縁材料等の電気材料であり、人、動物等を対象としたものでないため特に倫理面に対する配慮は必要としない。

A. 研究目的

将来使用電圧が円滑に200Vに昇圧化されることを目的に、我が国の感電災害事例を分析して、災害発生要因を究明し、効果的な感電防止対策手法の方向性を明確化することを目的とする。

B. 研究方法

中央労働災害防止協会安全衛生情報センター所有の感電災害事例78件を基に、事業場の規模、災害発生現場において使用された機器の損傷の有無、感電を誘発するハザード因子の同定、現場で適用された感電防止対策以外に感電リスク低減のために考え

C. 研究結果

本年度の調査、研究によって得られた結果は次の通りである。

- (1) 溶接作業の感電災害では全体の35%で主に溶接棒ホルダーの損傷がみられた。保守、点検作業や修理作業においては災害発生現場で使用された機器等に損傷等の問題は無かった。ケーブル接続、研磨、送電線の塗装等の電気関連作業、その他では約1/4のケースで主に使用機器の漏電がみられた。
- (2) 感電を誘発するハザードとしては高温環境、受変電設備、被修理機器、ク

レーン、送電線が主なものであった。高温環境は作業者の発汗を招くために人体抵抗が低下することとなり感電危険性が增大する大きな因子である。受変電設備は設備内に露出した充電部が存在することが危険要因である。クレーンでは露出充電部であるトロリ線、集電子が危険要因である。

- (3) 災害発生現場においては、取り扱う機器等に漏電、絶縁不良がみられたケースは全体の17%と比較的少ない割合であった。これらの課題は交流アーク溶接機の溶接棒ホルダーの損傷、電動工具等の漏電が主なものであった。
- (4) 災害発生現場において、実際の作業時において更なる感電リスク低減策を検討した結果、絶縁用保護具の着用や絶縁用防具の装着、交流アーク溶接機用電撃防止装置の使用などの基本的な対策が必要なことが分かった。

D. 考察

感電災害事例の分析によって、災害発生現場における機器の損傷等の割合は多くない状況が把握され、労働安全衛生規則で定められた感電防止対策が実行されていない状況が認められたので、そのような背景を検討する必要があると考えられる。

E. 結論

感電災害においては、絶縁用保護具や防具が適切に使用されていない状況が多くみられ、基本的な感電防止対策が実行される安全管理体制の確立が昇圧化に伴う感電防止対策にも不可欠と考えられる。

F. 健康危険情報
特になし。

G. 研究発表

1. 論文発表
 - ・ なし
2. 学会発表
 - ・ 富田一、“感電災害事例の分析”、電気設備学会全国大会、平成18年9月(予定)

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得
 - なし
2. 実用新案登録
 - なし
3. その他
 - なし

1. 200V配電系に必要な接地抵抗の検討

分担研究者 高橋健彦 関東学院大学 教授

研究要旨

変電所の構内では作業員の感電災害防止のために歩幅電圧や接触電圧の低減対策が行われている。この対策のひとつに砂利を敷く手法がある。IEEEの変電所接地設計指針においてもこの手法が提案されているが、指針の中で感電保護対策として砂利の抵抗率の具体的な指標は見当たらない。砂利よりも抵抗率を高くするためにシリコン溶剤を数ミクロンの厚さで砂利（玉砂利）に焼付けた砂利（以下シリコン加工砂利という）が考案された。これは撥水性、非保水性に優れた特徴をもつ砂利である。そこで、砂利の抵抗率を知るための抵抗率測定手法を開発した。

さらに、今後の感電保護対策として接地極付コンセントの有意性を示し、今後の接地設備についての提言を行った。

A. 研究目的

接地極は大地に埋設されるが、この接地極に地絡電流が流れた場合、接地極は付近に電位上昇が生じる。特に、大地抵抗率の高い地域においては電位上昇が大きくなり、人体の接触電圧、歩幅電圧に留意する必要がある。そこで、これらの電圧を低減させるための工夫として、砂利を敷く方法があるが、本研究ではシリコン加工の砂利を使用した場合の電圧低減策を検討する。

さらに、今後の住宅等の電気安全を磐石なものとするための対策として接地極付コンセントの普及は重要である。そこで、今後の住宅の接地設備についての提言を行う。

B. 研究方法

流体や粘土のような物体の抵抗率を測定

するのは容易であるが固体の抵抗率を測定することは容易でない。しかも、シリコン加工砂利を非破壊で測定する方法は見当たらない。

そこで、体積比濃度の考え方をを用いてシリコン加工砂利等の抵抗率を測定するために以下の方法で行った。

被測定媒質が液体や粘土であれば、媒質を水槽の中に入れ、抵抗を測定することで抵抗率が容易に推定できる。しかし、砂利の場合は隙間が生じるため、直接的な測定が不可能である。そこで、水槽の中に入れる媒質の量を体積比濃度で換算する。

媒質である砂利の体積比濃度が100%になることはあり得ないため、外挿法によって100%とみなしたときの抵抗率を推定する。

接地極付コンセントについては、その有意性を調査し、昨年度の研究成果をもとにこれからの接地設備について検討する。

C. 研究結果

(1) 砂利の抵抗率の推定

砂利やシリコン加工砂利の場合は、体積比濃度100%にはなりえない。そこで実験式を用い、外挿法によって体積比濃度100%、つまりそれ自体の抵抗率を推定することにした。その結果、砂利は1600Ωmとなり、シリコン加工砂利は24000Ωmとなった。

(2) 人体の接触、歩幅電圧の低減策

砂利やシリコン加工砂利の抵抗率をもとに、人体に印加される接触、歩幅電圧の数値シミュレーションを行った結果、砂利に対して、シリコン加工砂利を用いることによって大幅な電圧の低減が見られた。

(3) 接地極付コンセントシステム

接地極付コンセントシステムの有意性をPL法や感電保護の観点から調査した結果、感電災害防止対策には必要不可欠であることがわかった。しかし、このシステムの普及に際しての課題も多くあり、それらを抽出した。

韓国、台湾における接地極コンセントシステムの現状を調査し、日本と比較して、その普及率が高いことがわかった。

D. 考察

シリコン加工砂利の抵抗率測定手法を開発することができ、学会論文として採択された。このことは、砂利表面のシリコンを破壊することなく、抵抗率を測定できる新しい知見をもつ研究であり、今後の測定分

野に大きく寄与するものと考えている。この成果をもとに、IEEE（米国電気・電気学会）に発表することにより、国際的にも学術的な貢献ができると思われる。

接地極付コンセントシステムについても、韓国、台湾では既に十分な普及が見られるが、わが国においては若干の遅れがある。早急に普及に寄与したい。その一環として、昨年度の研究成果と合わせて、これからの接地設備の提案を世に示すことができると思われる。

E. 結論

感電災害防止手法としてシリコン加工砂利の利用を考慮し、数値シミュレーションによって、接触、歩幅電圧の低減対策としての有意性を明らかにした。今後、現場において普及するための啓蒙を行う必要がある。

また、接地極付コンセントシステムについて、有意性を明らかにし、普及のための課題を抽出できた。

今年度の研究の結果、変電所等の現場においてはシリコン加工砂利の使用によって感電災害防止が可能になり、建築物内においては接地極付コンセントシステムの採用によって感電保護対策を確立することが可能になった。

F. 健康危険情報

特になし

G. 研究発表

- 坂間博樹，鈴木幸治，高橋健彦，“シリコン加工砂利の抵抗率”，電気設備学会全国大会，平成17年9月

- 坂間博樹, 高橋健彦, “シリコン加工砂利の抵抗率”、電気設備学会論文(研究速報), Vol. 26, No. 4, pp55~56, 平成18年4月

H. 知的財産権の出願・登録状況

特になし

2. 200V配電系絶縁材料の絶縁劣化評価

分担研究者 本山 建雄 (独)産業安全研究所 部長

研究要旨

配線電圧が100Vから200Vに昇圧された場合を想定して、実施した前年度の成果から、昇圧の影響を①感電災害の増加、及び、②電気火災の増加に絞り、研究を実施した。①、②共に2005年に昇圧が完了した韓国の例が参考になり、日本との比較において昇圧の危険性を把握し、その対策について検討した。また、電気火災の原因と考えられるトラッキング現象について、プラグを模擬した実験を行った。検討の結果、感電に関しては漏電遮断器の効果が大きいこと、また、絶縁材料の特性が改善されていることからトラッキングの恐れは低いことが明らかになった。しかし、韓国の例に見られるように、古いコンセントを使用した場合にはトラッキングの発生が予想され、特に塩化ビニルのような樹脂を使用した場合には注意が必要であると考えられた。

A. 研究目的

韓国と日本の感電災害の推移、電気火災の推移を比較することにより、主な昇圧化の影響を明確にし、影響を低減する主な対策を提案する。また、電気火災の原因となるトラッキング現象と電圧の関連を検討する。

B. 研究方法

韓国の大学、安全機関との協力により、韓国の感電災害の推移、電気火災の推移、及び、230V昇圧率等の資料を収集し、同時期における日本の資料との比較から、配線電圧昇圧に伴う感電災害への影響、電気火災に対する影響を明らかにする。また、電気火災の原因の一つであるトラッキング現象が火災に移行する過程を、実験により明らかにする。

(倫理面への配慮)

本研究には生態等を利用せず、純粋に工学的な研究であるため、倫理面での問題はない。

C. 研究結果

韓国/日本とも230/200Vでの感電災害が100Vよりも多く昇圧による感電災害増加の影響がある。しかし、韓国のデータから感電防止用漏電遮断器の使用は感電災害防止に効果があると推定された。また、電気火災については韓国の国内事情の影響はあるものの、昇圧によって増加することが明らかと考えられた。電気火災の原因の一つであるトラッキング現象については材料の特性が良くなっていることから発生する可能性が低いものの、塩化ビニルなどを使用している古い接続器具を使用した場合は火災に至る危険性は高いことが明らかになった。

D. 考察

韓国との比較において、電気災害に対する国内事情の影響が大きく、原因の特定は困難であるが、韓国側の研究者の協力によって、昇圧化の影響をある程度、明らかにすることができると考えられる。

E. 結論

配線電圧昇圧に対する対策として漏電遮

断器の設置が有効であると推定された。

F. 健康危険情報

特段なし。

G. 研究発表

1. 論文発表

- ・ 本山建雄, 中田健司, 崔光石, 富田一,
“低圧配電の昇圧化に伴う電気火災・感
電事故の分析－100V/200Vの日本と220V
/380V化が終了した韓国との比較－”,
電気設備学会 (投稿中)

2. 学会発表

- ・ 本山建雄, 富田一, 崔光石, 中田健司,
“電気事故における日韓の比較”, 電気
設備学会全国大会、平成17年9月
- ・ 崔光石, 富田一, 本山建雄, 中田健司,
“日韓の電気事故に関する一考察”, 安
全工学研究発表会, 平成17年11月
- ・ 中田健司, 崔光石, 富田一, 本山建雄,
“有機絶縁材料のトラッキング劣化に
おける発火と電流の過程”, 電気学会全
国大会, 平成18年3月

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし。

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の 編集者名	書 籍 名	出版社名	出版地	出版年	ページ

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
高橋健彦	医療機器の接地システム	(社)電気設備学会誌	vol. 25 No. 5	37～46	2005
坂間博樹, 高橋健彦	シリコン加工砂利の抵抗率	(社)電気設備学会誌論文	vol. 26 No. 4	55～56	2006
高橋健彦	建築電気設備における接地技術	オーム	vol. 93 No. 2	12～13	2006
高橋健彦	内線規程の改訂に伴うこれからの住宅電気設備(前編)	オーム	vol. 93 No. 3	79～86	2006
高橋健彦	内線規程の改訂に伴うこれからの住宅電気設備(後編)	オーム	vol. 93 No. 4	73～76	2006

感電災害事例の分析

富田一（労働安全衛生総合研究所）

Case Study of Electric Shock Accidents

Hajime Tomita (Japan National Institute of Safety and Health)

キーワード：感電災害，分析，リスク，ハザード

1. はじめに

電気災害防止には、IEC60364, NFPA70E 等の規格が定められており、我が国では電気用品安全法、労働安全衛生法、電気設備技術基準等によって災害防止が図られているところである。現在の我が国の使用電圧は一般的には 100V であるが、世界的には 200V が主流になっており、我が国でも将来円滑に 200V への昇圧化を進めるためには、予め対応を検討しておく必要がある。

ここでは昇圧化の円滑な対応の参考として、感電災害の発生要因を中央労働災害防止協会安全衛生情報センターの感電災害事例 78 件を基に分析した。

2. 作業別感電災害の分類と要因分析

ここでは感電災害を表 1 の作業別に分類した。

表 1 作業別分類

作業	作業内容
溶接作業	交流アーク溶接機を使用した溶接作業
保守, 点検作業	キュービクル, 電気室, 変電設備等の保守, 点検作業
修理作業	電気機器, 天井クレーン, 引き込み線, 製造装置等の修理に伴う作業
電気関連作業, その他	ケーブルの接続作業, 製品の研磨作業, 送配電線の塗装等の作業

これらの作業別に災害発生現場におけるハザード, 実行された対策以外に必要な感電防止対策を分析した。

2. 1 溶接作業

図 1 には事業場の規模別の発生件数を示す。事業規模が 1~4 人, 5~15 人の比較的小規模の事業場が多いことが分かる。表 2 には災害要因が漏電, 機器の損傷等ハード的な要因による発生件数を示す。6 件のうち溶接棒ホルダーの損傷が 5 件であり, 1 件が電防装置の不良であった。

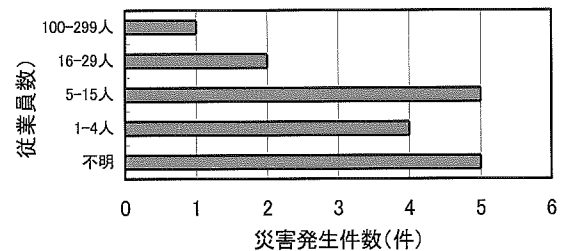


図 1 溶接作業感電での事業場規模と件数

災害発生現場について、感電災害を引き起こす要因であるハザードを図 2 に示す。作業環境が高温であったり、狭隘な場所は感電災害を引き起こす要因であることが分かる。高温であれば作業者の発汗のために人体抵抗が低下して、感電危険性が増大する。また狭隘な場所であれば、誤って人体が溶接棒に接触した場合に人体が接地体に接触する可能性が増大することとなる。

次に災害発生現場について、実際に実行された対策以外に感電災害防止のリスク低減のために行うことが必要な対策を図 3 に示す。これは実際の現場においては交流アーク溶接器用自動電撃防止装置（以下、電防装置という）が取り付けられて

表 2 作業別の災害発生件数と機械的要因

作業	発生件数	漏電, 機器の損傷等の要因による災害発生件数
溶接作業	17	6 (溶接棒ホルダーの損傷 5 件, 電防装置の不良 1 件)
保守, 点検作業	16	0
修理作業	12	0
電気関連作業, その他	33	8 (漏電 7 件, 漏電遮断器不良 1 件)

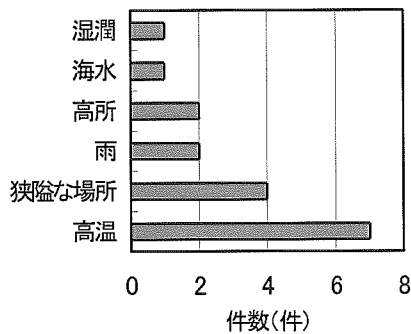


図2 溶接作業でのハザード

いないアーク溶接機が使用されていたり、感電防止のための安全管理体制が確立していないケースも見られたことによる。

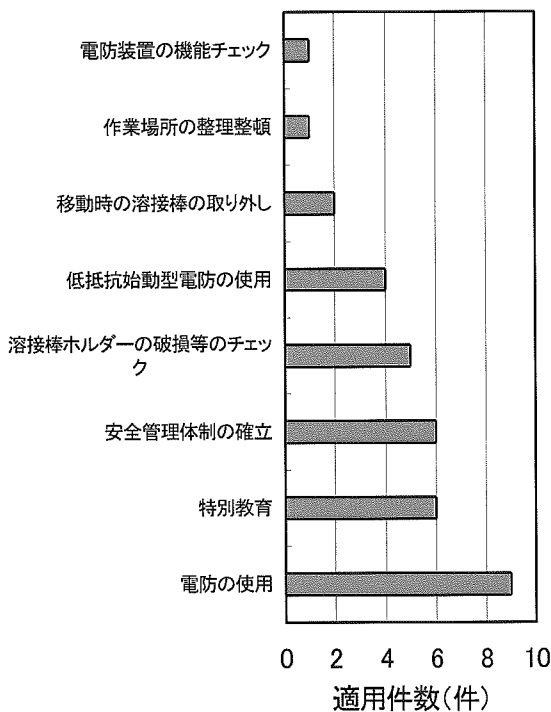


図3 リスク低減のための方策

2. 2 保守, 点検作業

事業場の規模別の保守, 点検作業での感電災害発生件数を図4に示す。溶接作業の場合に比較して30~99人, 300~99人と従業員数の多い事業場での災害が多い。

これらの災害発生現場については、ハード的な損傷等による災害は無かったが、ハザードとしては作業が保守, 点検ということもあり受変電設備

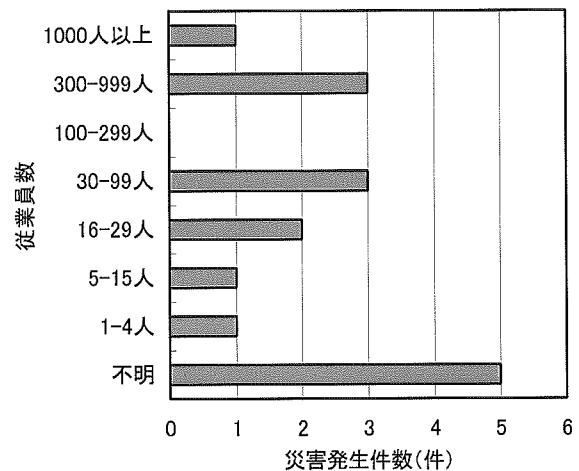


図4 保守, 点検作業での感電災害発生事業場の規模と災生件数

が主であった(図5)。実際に実行された対策以外に感電災害防止のリスク低減のために行うことが必要な対策を図6に示す。

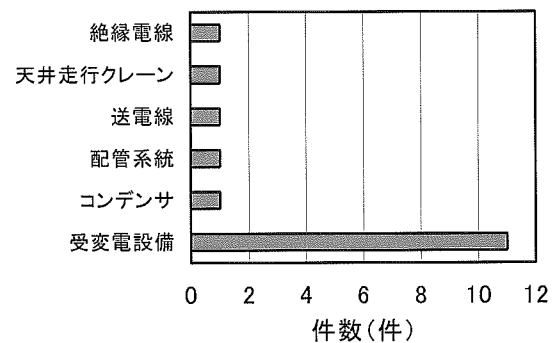


図5 保守, 点検作業でのハザード

絶縁用保護具の着用, 停電作業の確認, 安全な作業手順書の作成が主なものであった。図6の対策は一般的なものであるが、災害発生現場においてはそのような基本的な対策がなされていない状況であった。

2. 3 修理作業

図7には事業場の規模別の発生件数を示す。災害発生が特定の事業規模に偏る傾向は見られない。また災害発生現場においては使用される機器等のハード的な問題は見られなかった。

これらの災害発生現場におけるハザードを図8に示す。修理業務が多種多様であることからハザード

ドも多岐にわたっている。修理に関わるため、修理機器の対象自身が感電災害を誘引する可能性がある。

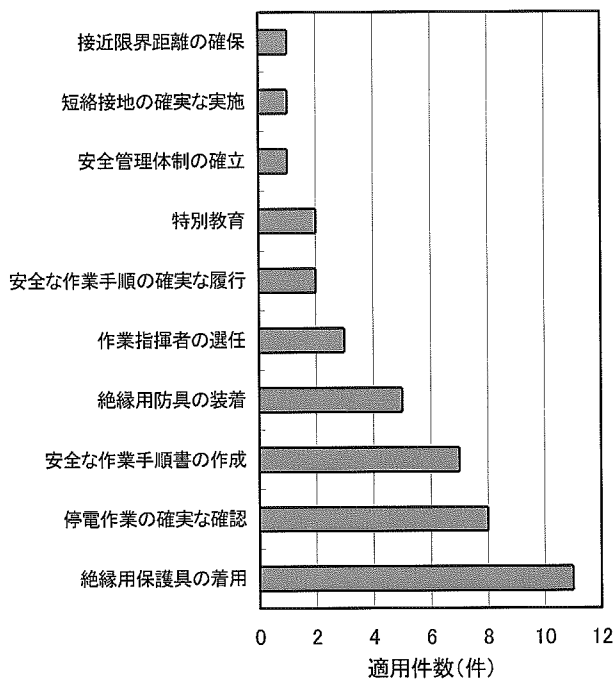


図6 リスク低減のための方策

また実際に実行された対策以外に感電災害防止のリスク低減のために行うことが必要な対策を図9に示す。

修理作業では活線作業となることが多いものの、絶縁用保護具の着用無しに作業されることもあったため、リスク低減には絶縁用保護具の着用、安全な作業手順書の作成と作業手順の遵守といった基本的な課題がみられた。

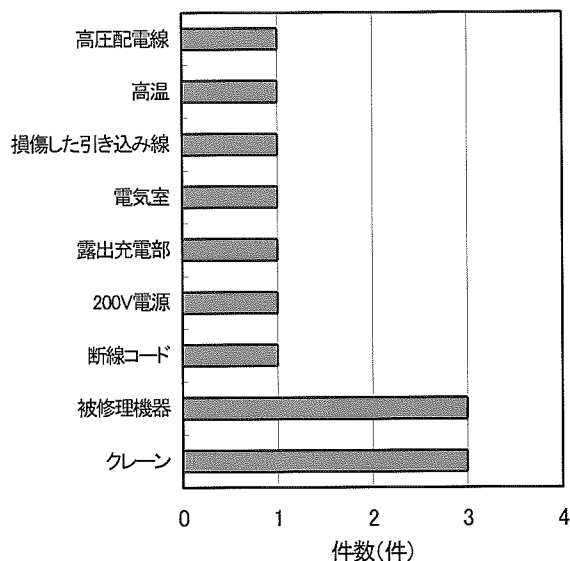


図8 修理作業でのハザード

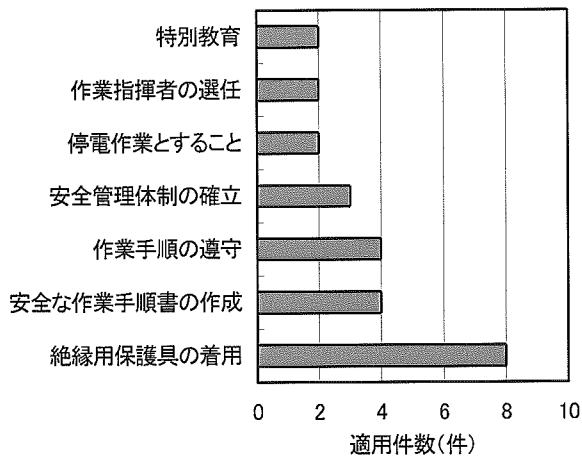


図9 リスク低減のための方策

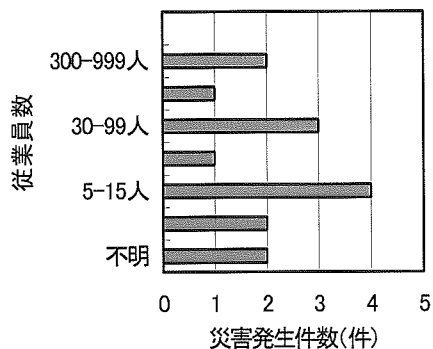


図7 修理作業での感電災害発生事業場の規模と発生件数

2.4 電気関連作業, その他

電動工具を使用した作業などの電気関連作業, その他で感電災害が発生した事業場の規模別発生件数を図10に示す。従業員300人未満の事業場で発生している。

これらの災害発生現場におけるハードの損傷等としては、使用される電動工具等の漏電が7件で主であり、漏電遮断器の不良も1件みられた。

これらの災害発生現場におけるハザードを図11に示す。送電線が多いが、これは送電線近くで移動式クレーン等を使用しての作業による。またモーター、グラインダー等の電気機器を使用した

作業については、機器の漏電等が感電災害を誘発する要因となっている。

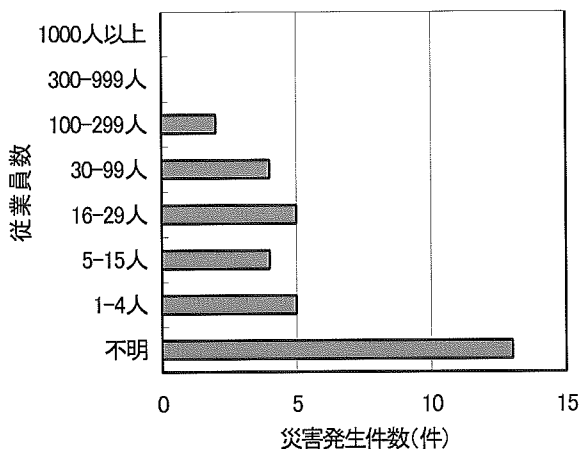


図 10 電機関連作業，その他での感電災害発生事業場の規模と災生件数

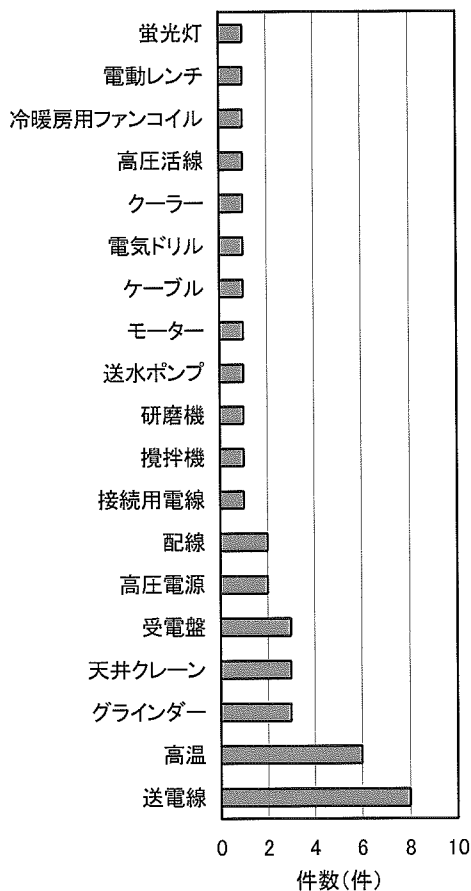


図 11 電気関連作業，その他でのハザード

これらの災害発生現場において、感電災害のリスクを低減するためにさらに必要な対策を図 12 に示す。件数が多かったものとしては、充電部に

対して絶縁用防具を装着することと作業者が適切な絶縁用保護具を着用することがいずれも 10 件で、次いで接近限界距離を確保すること、使用する機器の絶縁状況のチェック、漏電遮断器を設置することが、それぞれ 6 件であった。

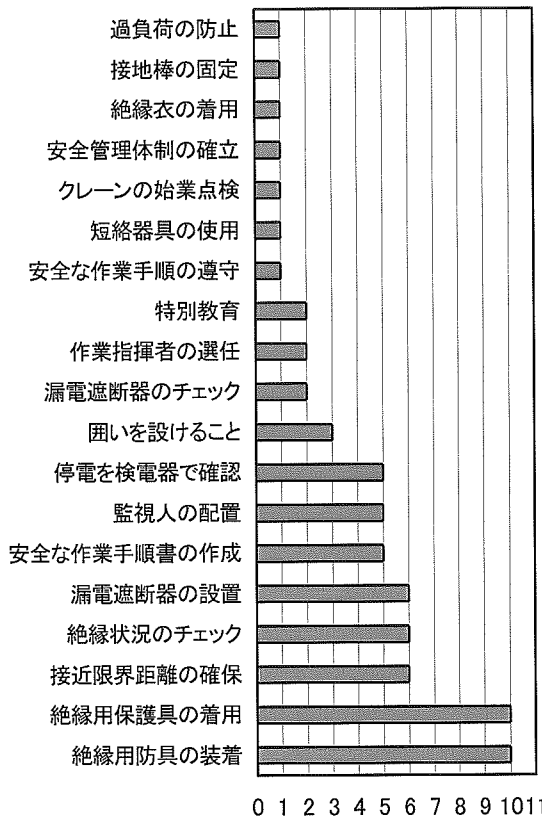


図 12 リスク低減のための方策

3. むすび

日本において 100V から 200V への円滑な昇圧化の参考資料収集を目的に、感電災害の事例分析を行った。その結果、感電災害の可能性のある電気関係の作業においては、作業に先立ってリスク分析によって、適切な感電防止対策を講じることの重要性が改めて明らかとなった。感電災害が発生した現場については、機器等に問題があったケースは比較的少なく基本的な感電防止対策に不備がみられたケースが多かったことから、基本的対策を適切に作業現場で実行できるような安全管理体制の確立を図ることが重要と考えられる。

参考文献

- 1) 中央労働災害防止協会安全衛生情報センター <http://www.jaish.gr.jp/jirei/jirei01.html>

医療機器の接地システム

Earthing System for Medical Electrical Equipment



たか はし たけ ひこ
高橋 健彦*

キーワード：保安用接地，機能用接地，雷保護用接地，等電位ボンディング

1. まえがき

近年、医療技術の高度化に伴い、様々な医療機器(本稿ではME機器と称する)が普及し、高度医療ツールとして使われてきている。これらのME機器の安全確保は医療従事者の最大の関心事であり、そのため、病院電気設備は安全のための環境を整備する必要がある。

ME機器には、X線装置、MRI装置のような大型なものから、医用電子機器などの小型のものまで多種多様にある。これらの機器の絶縁が劣化した場合、感電死(医療分野ではマクロショックと称す)する危険性がある。さらに、心臓外科手術においてカテーテルを体内に挿入、接触する場合、微少な電流(μA のオーダー)で心室細動が発生して感電死(マイクロショックと称す)する危険性もある。これらの感電を防止するためには接地、等電位ボンディングという対策を施す必要がある。

一方、病院の雷保護(特に内部雷保護)対策も重要な関心事である。ME機器の大部分はコンピュータが内蔵され、エレクトロニクスされている。これらの機器の電源系統、データ伝送系統に雷サージが侵入した場合、機器の破壊、誤動作、ノイズ発生などの障害が生じる。これらの障害は一つの建築物を対象としているが、敷地内に複数の棟がある場合、落雷による建築物間の電位差により、被害が拡大する事例もある。

これらの被害を防止するためには、やはり接地、等電位ボンディングの対策を磐石にする必要がある。本稿で

は、病院における接地のあり方について述べることにする。

2. 医療機器の接地の現状

我が国では、病院電気設備の安全基準(JIS-T-1022)をもとに接地設備の設計・施工を行っている。一方、IECでは医用電気機器の安全通則(IEC 60601-1)が制定されている。本稿では、JIS-T-1022における接地の現状を紹介する。接地方式の適用の考え方を表-1に示す。

2.1 接地の形態

医用室において、商用電源によって電力供給が行われている場合、大別して医用接地方式と非接地配線方式に分類される。我が国の配線は一般的には接地方式であり、地絡事故などの場合、漏電遮断器によって電源を遮断して感電保護が行われている。ところが、病院において、手術室や生命維持装置の電源は遮断することによって人命に影響を与えることがある。このような場合は非接地配線方式を採用し、地絡電流を制限(2mA以下)し、電源を遮断することを禁止している。そのかわり、地絡していることを警報する絶縁監視装置を装置することになっている。

表-1に示すように、非接地配線方式を採用する医用室はカテゴリ-Ⅰ、Ⅱに限定している。これらの保護手段をまとめて表-2に示す。

2.2 医用接地方式の種類

医用接地方式には、保護接地と等電位接地(IEC規格では等電位ボンディングという)がある。保護接地は地絡事故があった場合、電源を自動遮断するための、例えば漏電遮断器を併用して感電保護を行っている。

等電位接地は、いわゆる等電位ボンディングと同義語であり、電位差をなくして等電位とする目的で施されている。表-1におけるカテゴリ-Ⅰの場合、心臓カテーテル

* 関東学院大学工学部教授

昭和22年生まれ。工学博士(東京大学)、電気安全(感電、火災、雷)、電磁環境、接地の研究に従事。(財)電気設備学会理事、(財)建築設備技術者協会理事・副会長、NPO雷保護システム普及協会理事、(財)日本工学会評議員、(財)関東電気保安協会評議員、(財)日本法科学学会評議員。

表-1 接地方式の適用 (JIS-T-1022 抜粋, 追記)

カテゴリー A: 電極を心臓付近に挿入, 接触する処置の場合
 カテゴリー B: 電極を心臓以外の体内に挿入する処理の場合
 カテゴリー C: 電極を体内以外に挿入する処理の場合
 カテゴリー D: 電極を使用しない場合

カテゴリー	医用室 ^{a)}	医用接地方式		非接地配線方式
		保護接地	等電位接地	
I	心臓外科手術室	○	○	○
	心臓外科以外の手術室	○	○	○
	ICU (集中治療室)	○	○	○
	CCU (冠状動脈疾患集中治療室)	○	○	○
	NICU (新生児集中治療室)	○	○	○
	心臓カテーテル室	○	○	○
II	HCU (準集中治療室)	○	△	○
	リハビリ室 (回復室)	○	△	○
	人工透析室	○	△	○
	LDR (陣痛・分娩・回復室)	○	△	○
III	救急処置室	○	△	△
	無菌病室	○	△	△
	分娩 (娩) 室	○	△	△
	陣痛室	○	△	△
	作業療法室	○	△	△
	理学療法室	○	△	△
	観察室	○	△	△
	生理検査室	○	△	△
	病理検査室	○	△	△
	検体検査室	○	△	△
	X線検査室	○	△	△
内視鏡室	○	△	△	
IV	診察室	○	×	×
	一般病室	○	×	×

備考 記号の意味は, 次のとおりとする。
 ○: 設けなければならない
 △: 必要に応じて設ける
 ×: 設けなくてよい

表-2 配線方式と保護手段

配線方式	電源の形態用途	保護手段
接地配線方式	変圧器 一般医用室	保護接地, 等電位接地 (ボンディング)
非接地配線方式	絶縁変圧器 手術室 生命維持装置	絶縁監視装置による警報 (表示灯・音管)

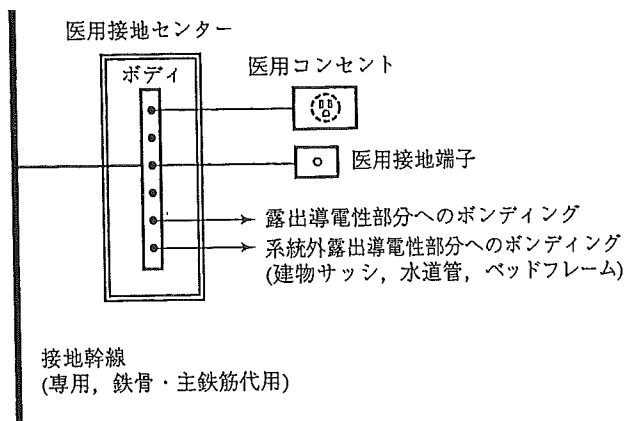


図-1 医用接地方式の構成

検査では電極が体内に挿入されており, 患者の周囲にある露出導電性部分 (例えば ME 機器), 系統外露出導電性部分 (例えばベットフレーム) の間に電位差が生じた場合, 患者がそれらに触れたとき, 電位差と抵抗の関係で電流が流れ感

電 (マイクロショック) することが予想される。そこで, 電位差を零ボルトにするため, それらをボンディングするわけである。表-1 に示すように, この方式は病院のすべての医用室が対象となる。

医用接地方式は, 保護接地と等電位接地を満足するために図-1 に示す構成で施工されている。

3. 人体の感電特性

感電保護 (本稿ではマクロショックの範囲をいう) を行う場合, 最も重要な指標は感電電流である。感電電流には大別して, 感知電流, 不随意電流, 心室細動電流の3種類ある。人体に電流が流れても, ただ感知するだけであれば不快感が残るものの死亡することはない。問題となるのは, 人体に電流が流れて, 呼吸困難や筋肉収縮によって体の自由がきかなくなって二次災害を引き起こす場合や, 心室細動によって心臓が停止して死亡する場合である。

3.1 感電電流の種類

感電電流を評価するには, (a)人体を通過する電流の大きさ, (b)通過する時間, (c)通過する電流経路, (d)直流, 交流の区別, (e)周波数及び波形, (f)接触電圧, (g)皮膚の乾燥状態など様々な項目がある。

感電電流には, 次に示す3種類がある。

- ①「感知電流」: 手を対象にした場合, 指先に“ピリッ”あるいは“ちくちく”と感ずる程度の電流の大きさをいう。交流電流 (50 Hz/60 Hz) で 0.5~2 mA の範囲であるといわれている。
- ②「不随意電流 (離脱限界電流)」: 感知電流よりも大きな電流で指先から腕に移り, 手あるいは腕の筋肉が収縮, けいれんを起こし, “ビリビリ”あるいは“じくじく”する苦痛を伴う電流であり, 自分の意思で手を放せなくなってしまう。手を放せない状態が長時間続くと呼吸が苦しくなり, 意識がなくなってしまうことがある。交流電流で, 短時間の場合, 10~15 mA 程度といわれている。
- ③「心室細動電流」: 感電死する電流である。

3.2 感電のメカニズム

生体の心臓は, 図-2 に示すような波形の電気信号を自身で発生させている。同図はその基本形である。これらの P, R, T の波頭をもつ信号により, 心筋の弛緩や収縮が行われ, 周期約 0.7 秒で規則正しく働き, 血液を体内に循環させている。

ところが, 外部から体内に, ある大きさの電流が流れると同図に示すように心臓から発生する信号を乱して規則正しいポンプ作用を営むことが不可能になってくる。すなわ

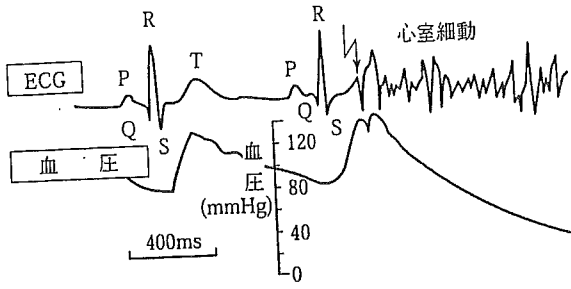


図-2 心室細動の発生と血圧の低下

ち、心筋のコントロール信号を乱し、心筋の振動が発生する。この振動を心室細動という。その結果、血圧が低下し、死に至るわけである。

3.3 感電電流の安全限界

IEC(国際電気標準会議)の中に組織されているTC64(電気設備と感電保護)では、1969年以来今日まで建築電気設備にかかわる様々な内容について審議している。特に、感電保護対策の基本的資料として“人体を通過する電流の影響”と題した刊行物(Publ.60479)を1974年に出版している。その中に、感電電流の安全限界(生理学的限界)の曲線がある。それを図-3に示す。同図に示したグラフは感電電流(心室細動電流)と作用時間の関係を感じ電の危険度に応じ、大別して四つの曲線と五つの領域に分けている。

これらの曲線のうち、最も重要なC曲線は世界的な感電に関する研究者であるビーゲルマイヤー博士の成果に基づいている。彼はオーストリアのウィーンに在住し、今でも現役で多くの研究成果を発表している。筆者は実験データについて討論するために、ときどき彼に会っている。

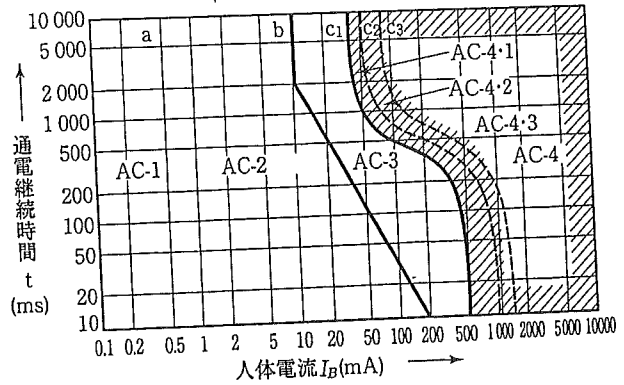
ビーゲルマイヤーもケッペン(独)、ダルジール(米)と同様に動物実験でデータを得ているが、特記すべきは、彼自身が被験者になって人体の電気的特性データを取っていることである。筆者はこの実験のビデオを預かっている。実験の様子を写真-1に示す。

3.4 電流経路による感電電流の安全限界

図-3に示した電流値は、電流の通過する経路が左手と両足間の場合であったが、実際にはそれ以外の経路における電流も考える必要がある。その場合には、心臓電流係数Fを導入した感電電流 $I_h = I/F$ で評価することができる。ここで、Iは心室細動電流(図-3)、Fは心臓電流係数(表-3)である。

4. 病院における接地・等電位ボンディングの役割

近年の医療技術の進展により、多種多様なME機器が病院に導入されている。これらの機器には感電防止のための保安用接地を必要とする。また、大型ME機器には運転制



領域	生理学的影響
AC-1(直線 a)	通常では、反応はなし。
AC-2(直線 a~直線 b)	通常では、有害な生理学的影響はなし。
AC-3(直線 b~曲線 c1)	通常では、想定される器官傷害はなし。電流が2秒より長く持続する場合、けいれん性の筋収縮や呼吸困難の可能性はある。電流値と時間の増加に伴い、心房細動や一時的な心臓停止を含む心臓のインパルスの生成と伝導の回復可能な乱れが心室細動なしに起こる。
AC-4(曲線 c1~)	電流値と時間の増加に伴い心臓停止、呼吸停止及び重度のやけどなど危険な病態生理学的影響が領域3の影響に加えて起こる可能性がある。
AC-4.1(c1~c2)	心室細動の確率が約5%までに増大。
AC-4.2(c2~c3)	心室細動の確率が約50%以下。
AC-4.3(c3~)	心室細動の確率が約50%超過。

図-3 感電電流(15~100 Hz)の生理学的影響(IEC 60479)(大人、左手から両足の電流経路の場合)

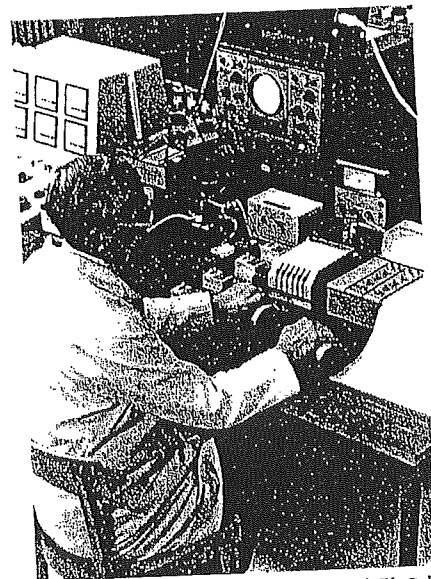


写真-1 ビーゲルマイヤー博士の実験の様子

御するためのコンピュータが用いられており、コンピュータが正常に稼動するための機能用の接地も必要とされる。さらに、病院の建築物には雷保護が施されており、そのための接地も必要である。

表-3 電流経路を考慮した心臓電流係数及び感電電流 (IEC 60479)

電流経路	心臓電流係数 F	感電電流 I_b (図-3)
左手と左足, 右足又は両足	1.0	I_b
両手と両足	1.0	I_b
左手と右手	0.4	$2.5 \cdot I_b$
右手と左足, 右足又は両足	0.8	$1.25 \cdot I_b$
背中と右手	0.3	$3.33 \cdot I_b$
背中と左手	0.7	$1.43 \cdot I_b$
胸と右手	1.3	$0.77 \cdot I_b$
胸と左手	1.5	$0.67 \cdot I_b$
尻と左手, 右手又は両手	0.7	$1.43 \cdot I_b$
左足と右足	(0.04)	($250 \cdot I_b$)

一方、建築物を構成する系統外導電性部分と ME 機器の電位を同じにする等電位接地 (IEC 規格では等電位ボンディングという) も必要である。この対象は低圧回路設備、情報通信設備、雷保護設備であり、上述の接地と同様に重要な技術である。ここでは、それらの種類と役割について述べる。詳細は文献 2), 3) を参照されたい。

4.1 接地の役割

(1) 保安用接地

保安用接地は、人間及び電気設備機器の安全を確保するための接地であり、古くから実用に供している。この接地系には地絡事故や雷撃があった場合に、接地極を介して接地電流が大地に流れ、電位上昇が抑制され接地の役割を果たす。

(2) 機能用接地

多種多様なエレクトロニクス機器が建築物内に導入されており、電磁的な環境整備が大きな関心事である。このような状況において、機能用接地はエレクトロニクス機器の安定な稼動を確保するためのものであり、必要不可欠な接地技術になってきた。この接地系には接地電流が常に流れている。

大地もある種の電気抵抗をもっており、電流が流れれば、そこには電位差 (残留電位) が存在する。大地に限らず、鉄骨造の建築物の構造体にも、エレクトロニクス機器相互間、あるいはコンセント間にも電位差が存在する。

強電機器を対象とした場合、大地を電位の基準点と見なして十分である。しかし、エレクトロニクス機器の場合、接地系に流れる電流の周波数にも関係するが、微弱な電位の変動でさえ誤動作の原因となる。そこで、基準電位を確保するために、建築物の空間において人工的な基準電位面を設ける必要がある。

(3) 雷保護用接地

雷保護には、建築物を守る外部雷保護と建築物内に導入されているエレクトロニクス機器を守る内部雷保護がある。外部雷保護の接地は雷電流を大地に放流するためのターミ

ナルの役割を果たし、電位上昇を抑制する。

一方、内部雷保護はエレクトロニクス機器の過電圧保護であり、それを実現するためには EMC、等電位ボンディング、雷サージ防護デバイス (SPD) などの技術を必要とし、EMC 接地、SPD の接地方法などが問題となる。それらのうち、特に SPD を正常に稼動させるためには良好な接地が必要である。

(4) 接地の共生

前述したように、接地は保安用接地 (雷保護接地を含む) と機能用接地とに大分類される。ここで、接地の形態を考えてみると、保安用接地は主として接地極による大地の電位上昇にかかわりがある。一方、機能用接地も一部は大地を対象にしているが、エレクトロニクス化された機器・設備に対しての電位変動をなくすために建築物の空間を対象にしている。

このように、大地を対象にしている接地と建築物の空間を対象にしている接地があり、これら両者の良好な共生関係を構築するのが接地システムである。

建築物には、電力・情報・通信・エレクトロニクス機器など多種多様な設備機器が導入されており、これらの機器の接地の目的も様々である。このような環境において、接地線に流れる高周波電流によるインピーダンス、つまり接地系の周波数特性、雷サージに起因する電磁環境の問題、電力系・信号系の接地線の布設形態の問題などが顕在化している。

このような諸問題に対処するためには、機能用接地を主体とした接地システムの構築が必要不可欠である。それには従来からの接地の考え方から脱却して、等電位ボンディング、EMC の思想を取り入れた新しい接地システムの概念を導入することが肝要である。

4.2 等電位ボンディングの役割

(1) 等電位ボンディングとは

等電位ボンディングは、建築物空間における金属導体の“つなぎ”であり、それによって電位を同じにする、つまり等電位化を図ることを目的に施工されるものである。等電位化を図ることで、例えば接触電圧を低減することができ、安全限界値以下に抑えられる。ここで、場合によっては、電位差を完全にゼロにすることができないこともあるが、数 mV の範囲であれば、ボンディングすることで等電位化を実現できたと見なすことがある。

このように等電位化も役割の一つであるが、ボンディングすることで 1 点に集中した電位の基準点を与えることができ、これも重要な役割である。

等電位ボンディングと接地を同義語のように扱うことが

表-4 等電位ボンディングの役割

種 類	等電位ボンディングの役割
保護用等電位ボンディング	主として感電保護
機能用等電位ボンディング	主として機能保証, 電位の基準点の確保, EMC対策
雷保護用等電位ボンディング	主として雷過電圧保護, 火花放電の防止, EMC対策

あるが、これは厳密には異なる。接地は大地を対象にしており、ボンディングは建築空間を対象にしている。ただし、ボンディングによって1点にまとめたものを接地することもあるが、意図的に大地に接続しない、非接地とする場合もある。

(2) 等電位ボンディングの種類

ボンディングの対象は、大別して、低圧電路、情報・通信設備及び雷保護設備に係ってくる。

低圧電路設備においては、保護用等電位ボンディング、情報・通信設備においては機能用等電位ボンディングがある。特に過電圧保護に関しては、SPDと併用することで等電位化が実現される。

一方、雷保護設備においては雷保護用等電位ボンディングがあり、これも過電圧保護に密接に関係するもので、建築物の外部から引込まれる導電性部材、建築物の構成部材である鉄骨・鉄筋、建築物内部の導電性部材をすべてボンディングすることで建築物内部の等電位化を図るものである。

これらの共通の目的は、等電位化を図ることであるが、等電位ボンディングの役割を求めると、表-4のようになる。当然のことであるが、これらの役割は独立事象ではなく、お互いに密接に関係することはいうまでもない。

(3) 接地と等電位ボンディングの関係

我が国において、従前から基準・規格に等電位ボンディングの用語は供用していない。その理由の一つには、ただ等電位ボンディングの用語を定義してこなかっただけで、その概念は従前から存在していた。つまり、すべて接地という用語で等電位ボンディングを包括していたと思われる。一例を示すと、建築物空間において、本来は「等電位ボンディングを施す」という趣旨であるのに、「接地につなぐ、接地におとす」という技術的ないい方で設計・施工してきたにすぎない。

もう一つの理由としては、我が国では低圧電路にTT方式の接地システムを採用してきているためであろう。周知のように、TT方式においては感電保護対策として、保護接地方式、漏電遮断方式などがあり、これらは、接地極に流れる地絡電流をもとに接触電圧を指標として実行している。電路設備には等電位ボンディングを必要としない。

それに対して、ヨーロッパなどで採用されているTN方式においては、機器接地の代わりにPE導体、PEN導体を用いており、地絡事故は短絡事故と見なされ、この電流を過電流遮断器で保護している。電流による建築物空間のあらゆる場所で接触電圧が発生すると危険なため、電流を流しやすくするためにすべてをボンディングするわけである。そのため等電位ボンディングが必要不可欠になる。TT方式とは全く保護の思想が異なる。

5. 病院における雷保護対策の必要性

平成14年8月、栃木県にある病院に落雷があり、大きな被害があった。この病院は広い敷地に病棟、研究棟などの建築物が分散して建設されており、これらの建築物相互間は電力線、情報通信線などの導体でつながれていた。一つの棟に落雷があり、それがほかの棟に波及して大きな被害になったようである。同様なケースが東京都(平成13年8月)、千葉県(平成14年8月)の病院であった。

このように、病院においては特に雷保護対策が重要である。

5.1 建築物のファラデーケージ化

雷に起因する過電圧には、直撃雷電流によって誘起されるもの、架空線によって伝導される雷サージによるものなどがある。

雷保護には、外部雷保護と内部雷保護がある。外部雷保護は受雷部、引下げ導線、接地極の三つの要素で構成される。引下げ導線に雷電流が流れた場合、建築物の外部導電性部材との間で火花放電が発生する場合がある。これを防ぐためには離隔距離を保つ必要があるが、それに加えて等電位ボンディングを施さなければならない。

内部雷保護は、情報・通信設備の過電圧、EMCに密接に関係し、サージ防護デバイス(SPD)及びボンディング導体によって等電位ボンディングを施さなければならない。

建築物の構成部材である鉄骨(あるいは鉄筋)の三次元の構成は、建築空間の磁界を減少させ、電位差をなくすための自然な電気かご(ファラデーケージ)と見なすことができる。しかしながら、外部雷保護及び内部雷保護を完全に構築するためには図-4に示すように、建築物内にあるすべての金属製導体を意図的にボンディングすることが重要である。

5.2 接地の共用化

一つの建築物を対象にした場合、低圧電路設備の保安用接地(ダーティ接地ともいう)、雷保護設備の接地を必要とする。これらを個別に接地すれば、図-5(a)に示すように、大地の電気的抵抗及び接地極の接地抵抗が存在するために、それぞれの設備相互間に電位差が発生する。これらの接地をまとめて1点接地を施した場合でも、同図(b)に示すように、(a)より小さい電位差が生じる。

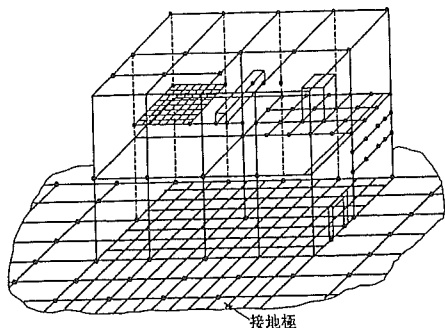


図-4 建築物の電気的かご(ファラデーケージ)の概念

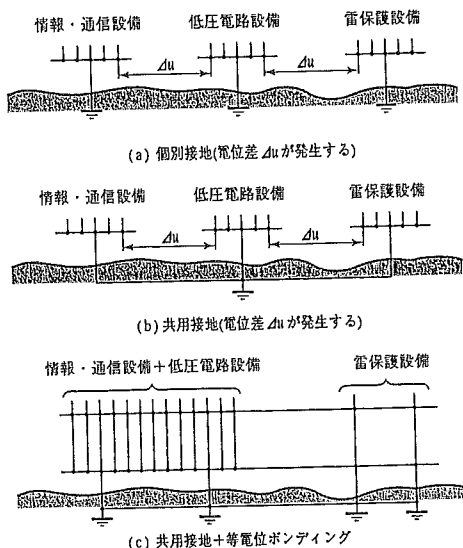


図-5 建築物における設備の等電位ボンディング

そこで、これらの接地に対して、同図(c)に示すように、保安用と機能用のグループと、雷保護用のグループを分けて、それらの接地極相互を等電位ボンディングを施すことによって、電位差が無視できるようになる。ここで、必要ならば建築物の各階層で等電位ボンディングを施すこともある。

5.3 建築物の等電位化

大規模な敷地に複数の建築物が林立している場合、個々の建築物には雷保護のための接地(例えば構造体基礎代用接地極、あるいは人工接地極)が施工される。同一敷地内で個々に接地を施工すれば、マクロ的にみればそれらは単独接地と見なされる。建築物相互間は電力線、通信線などの導体でつながれており、雷に起因して当然ながら電位差が発生する可能性をひそんでいる。そこで、敷地全体を等電位にするためにループあるいはメッシュ接地を採用することがある。

図-6に示すように、建築物間を架空線を用いて情報・通信・制御線で結ぶ場合がある。このような状況において、落雷があった場合、過電圧が発生する危険性がある。建築物は鉄骨あるいは鉄筋構造体で完全なファラデーケージ(電気的かご)になっているとすると、建築物から情報・通信・制御線の出口、あるいは入口はファラデー孔(Faraday

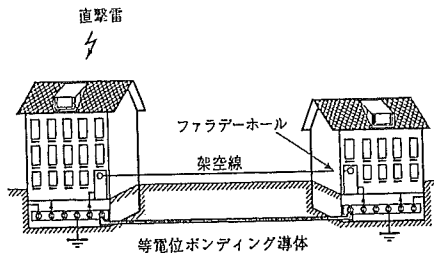


図-6 病棟間における建築物の等電位ボンディング(架空線の場合)

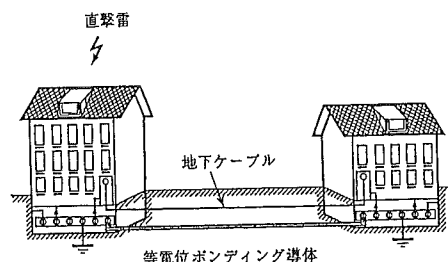


図-7 病棟間における建築物の等電位ボンディング(地下ケーブルの場合)

hole)といわれ、落雷があった場合、建築物の電位が上昇し情報・通信・制御線に過電圧が印加される。

図-7に示すような地下ケーブルで結ばれている場合でも、同様な過電圧が発生する場合がある。

過電圧の発生を防止するためには、相互を建築物間の電位差の等電位ボンディングを施し、等電位化を図る必要がある。

6. あとがき

与えられたテーマである“医療機器の接地の考え方”を拡大させて病院における接地の内容としてまとめた。市民が安心して手術や治療に専念するためには、病院における電気設備環境が安全である必要がある。病院関係者はマクロショック、マイクロショックの恐さを十分に認識し、日頃から留意していることであろうが、雷に対してはどうだろうか。

従前は、我が国では“雷災害は天災だからしかたない”という風潮があったが、近年は人災であるという認識が芽生え雷リスクを明確化してマネジメントするという動きが生まれてきた。特に内部雷保護は技術力で十分な対策を施すことが可能である。安心できる環境を構築するために、雷保護の重要性を認識していただきたい。本稿が病院関係者にお役に立てれば幸いである。

参考文献

- 1) JIS-T-1022
- 2) 高橋健彦:「図解 接地システム入門」オーム社 2001年
- 3) 高橋健彦:「接地・等電位ボンディング設計の実務知識」オーム社 2003年
- 4) 高橋健彦:「雷と接地の共生」電気設備学会誌, Vol.25, No.2