

氏 名	菊池 通夫
授与学位	博士（工学）
学位授与年月日	平成5年2月10日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第2項
最終学歴	昭和28年3月 東北大学工学部電気工学科卒業
学位論文題目	地中配電方式の評価に関する研究
論文審査委員	東北大学教授 豊田 淳一 東北大学教授 竹田 宏 東北大学教授 奏泉寺敏正

## 論 文 内 容 要 旨

この論文は配電システム「接地方式」「配電方式」「経済評価」の3つの観点から地中配電方式の評価について述べている。この研究は配電システムを近代化することを目的として行ったものである。配電システムは構成の形の面から大別して「架空配電」と「地中配電」の2つの分類出来るが、それはその配電設備を空中に置くか、地中に置くか、という単純な区別ではない。このことを今回の研究で分析して述べた。それは「架空配電主体概念（サブとして地中配電を置く）」と「地中配電主体概念（サブとして架空配電を置く）」と捉えるべきものである。分析によれば「架空配電主体概念」とはわが国で現在行われているような概念で、接地極抵抗  $R_g$  が約10～500Ωと比較的高く、それぞれ個別に接地極を用意する個別接地形態を採用し、寿命は平均10年程度である。一方「地中配電主体概念」とは現在欧米で行われているような概念で、接地極抵抗  $R_g$  が約25Ω以下と比較的低く、共通接地形態を採用し、償却寿命は約20年とされているが、実質寿命は50年程度である。このようにそれぞれの評価スタンスが違っている。

地中配電を構成する意義は単に都市の美観を目的とするだけでない。地中配電は架空配電より費用がかかり高くつくというわが国で現在支配的な概念は妥当な評価なのだろうか。経済性が成り立たなければ商用として成り立たない筈である。

配電システムは国民生活に直接影響を持ち、経済的で安全確実なものが求められている。それは社会全体と結合して有機的に運営されているシステムである。配電システムは電力供給システムの末端に位置し、個々の負荷への電力配分を受け持っている。

(1)配分すべき電力総量は増大の一途を辿り、配分時の電力損失を如何に小さくするかは、国民経済に重大な影響を持っている。即ち配電システムの「システム効率の向上」は新時代における近代化の急務である。

(2)一方電力配分に必要とされる資本系と電力損失系年間費用は他の同種の配電システムに比較して常に安くなければならない。さもなければ社会全体は経済的競争力に大きな影響を受ける。即ち配電システムの「システム経済性の向上」は時代の近代化要請である。

(3)更に電力配分に必要とされる人件費、運用費は他の配電システムに比して、より少なくなければならない。かつシステムの拡張はシンプルに出来なければならぬ。これは社会にゆとりをもたらす。即ち「システム拡張性の向上」は近代化のために必須である。

(4)更に、電力配分は安全に行われなければならない。即ち「システム安全性の向上」が近代化のために見直しが求められている。

(5)更に配電システムは社会の美観を害するようなものであってはならない。即ち「システム美観性の向上」は文化面から今や近代化にとって不可欠である。

以上の5つは配電近代化のための基本要件であると考えられる。

負荷様相が変わった今、従来の配電システムのままで良いのだろうか。本研究は次のような報告をしている。

【接地方式】半導体を多用する時代を迎えた。今や弱電負荷が数の上でメインになった。低圧系統では負荷が持つべき絶縁耐力電圧は決められていない。昔からの機械は $2E + 1000V$  ( $E$ は使用電圧)の試験電圧を新品時にかけて確認しているが、現在の大勢はもっと低い状態にある。通信系とも新しい立場での整合がなければならない。更に取り扱う電力が大きくなり、 $200V$ 、 $400V$ の時代になっている。このような状況の中で低圧系の接地極抵抗 $R_e$ は低くあるべきか、又は高くても良いと捉えるべきかという問題意識がある。理論分析、数値計算、運用実績統計、及び実験を行った結果、低圧系の接地極抵抗 $R_e$ は低くあるべきであるという結論を得た。高低圧併架も困難である。何にもまして人体および設備に対し安全であることが評価の中心になる。この事は「地中配電主体概念(サブとして架空配電を置く)」が良い結果を示すことにつながる。

個別接地形態の場合には対地電源電圧 $V_1$ に対しフレーム接地極抵抗 $R_{eFG}$ とシステム接地極抵抗 $R_{eSG}$ が直列につながってそこに地絡電流 $I_e$ が流れる形になる。従って $V_1$ は $R_{eFG}$ と $R_{eSG}$ によって分圧され、この内の $R_{eFG}$ の両端に発生する電圧が地絡時危険電圧 $V_D$ となって人体などにかかる。これがこの形態の時の感電の原因である。この分圧の考え方だけに立てば $R_{eSG} = \infty$ の状態、即ち低圧系統を非接地にすれば地絡時電源電圧 $V_1$ はすべてシステム接地SG側に分圧され、理論的には危険電圧 $V_D = 0$ で安全である。電源電圧が低い低圧では接地極抵抗 $R_e$ が大きいことは実質『非接地』相当でもある。逆に電源の電圧が $100V$ と低いうちは危険電圧 $V_D = 50 \sim 65V$ に近いのでたいして問題ではないが、 $200V$ 級となった場合には接地極抵抗 $R_e$ が $100\Omega$ 、 $500\Omega$ レベルであると低圧電力系統が地絡した場合には問題が起こる。 $R_{eSG} = \infty$ の非接地の状態では漏電や地絡事故が発生したときに $I_e$ が還流する口がないので漏電遮断器などの保護装置が正常動作しない。この点の実験で確認出来たし、さらに重要なことはシステム接地SGが非接地である為バックパワーPが大きくなるときかけは非常に短い時間の過電圧ではあるが、電圧が長時間潰れてしまうという事実が確認されたことである。従ってシステム接地SGは出来るだけ低い接地極抵抗 $R_e$ で接地されなければならない。また、非接地と反対に有効接地方式をとった場合を考えると分圧の考え方

のみでは分圧比のみが問題であるので  $R_{eFG}$ 、 $R_{eSG}$  共、高抵抗であろうと低抵抗であろうと構わないということになる。その結果接地極抵抗が  $10\Omega$  以下というのが出てきたり、 $100$ 、 $500\Omega$  以下というのが出てきたりする。これが現行のわが国の「接地方式」の基本の考え方になっている。ところがこの現行の架空配電主体概念の接地方式にはもう一つの必要要件が欠けていることを今回の研究で明らかにした。即ちそれは「フレーム接地極抵抗  $R_{eFG}$  の大きさは供給する電力  $P$  (バックパワー) の大きさによって支配されている。特に  $P$  が大きくなったら  $R_{eFG}$  は出来るだけ小さくしなければならない。」という必要要件である。結論として低圧にはいろいろな系統条件があり、その系統条件によって高い過電圧が出ることが明らかである非接地方式は低圧といえども適切な選択ではない。現行の低圧規格の考え方では負荷機器のすべてに対地絶縁の高いことを要求出来ない。従ってバックパワー  $P$  が大きくなり  $200V$  級配電の時代になったら非接地概念は一般に広くは使えない。漏電、地絡程度では遮断停止を避けたいという特別な負荷を持つ場合には中性点接地制限抵抗  $R_N$  を付けた還流電流制限形の設計で対処することになる。従って商用電力系統のように低圧系がバックパワーが大容量 (例えば  $30kVA1\Phi \sim 630kVA3\Phi$  など) の場合は低圧電力系統ではシステム接地  $SG$  とフレーム接地  $FG$  の  $R_e$  は徹底的に低くしなければならない。さもないと安全を確保するための  $65V \geq R_e \cdot I_e$  の条件を満足出来ない。 $15mA$  に感電する人体にとっては危険である。これを日本の現行のように『非接地高圧の例えば地絡電流  $I_e$  約  $6A$  の高低圧混触時ののみに限定するコンセプトをとった』と限定しても  $R_e = 150V / 6A = 25\Omega$  となり接地抵抗  $R_e$  がかなり高い。さらに例えば  $100A$  接地の特別高圧系との混触であったらどうなるかという問題もある。さらにまたよく経験するが  $R_e = 500\Omega$ 、 $100\Omega$  レベルでは低圧架空線への落雷で設備を全面破壊する確率が高くこの実例が多い。また本研究で実験データで分析したように非接地の低圧系統での地絡時での過電圧による絶縁破壊もまた最近よく経験することである。人体にも危険である。いずれにしても接地極抵抗  $R_e$  は徹底的に低くなければならない。

【配電方式】現行の「架空配電主体概念 (サブとして地中配電を置く)」が本当にゆとりがあり、拡張性というシステム要求に適合したものであるかという問題意識に立って多年にわたり分析を進めた。その結果方式的により一層の改善が必要であることが明らかになった。究極は「地中配電主体概念 (サブとして架空配電を置く)」が良い結果を示すことを確認した。

近代化の大前提として大容量化と長寿命化がある。大容量化に対応するために低圧配電電圧を  $200V \times 3$  化即ち  $400V$  化しなければならない。こうすれば最下位の電力供給容量が増えるから電力系統全体の経済性が良くなる。その為には安全の立場から接地極抵抗  $R_e$  を徹底的に低くしなければならない。そして中性線とフレーム接地線が存在する低圧  $3$  相  $5$  線式の配電方式が目的に合うことを述べた。その為には導線サイズが大きくなることも考慮して地中配電主体概念にすることが目的に合う。さらにネットワーク形地中配電の主体にするために経済上の観点から、低圧系とペアで動作させる為に中間電圧の概念の導入がどうしても必要である。これも新しい提案である。地中配電主体概念では大自然の風雪などの影響がないから信頼性は極めて高く手間がかからない。負荷の増加に対してもケーブルの張増しで対応出来、かつ配電変圧器も撤去取り替えの必要がなく構成上経済的である。寿命も  $50$  年と長く、美観も良好であり、電力損失も少ない。直接接地の場合には短

絡保護装置がすべての3線に有効でなければならない。3相3線の次の4線目の電気的な中性線は単に対地間電圧を利用出来るというだけではなく、安全性その他の為に必要不可欠なものであることを明らかにした。さらに5線目のフレーム接地線もシステムに付随して必要であることを総合的な観点から論じた。この形が安全であり、経済的である。以上のように単純に有効接地という簡単な捉え方でなく配電方式上新しく特徴を引き出すことを提案する。

【経済評価】現行の「架空配電主体概念（サブとして地中配電を置く）」が経済的に本当に要求に適合したものであるかという問題意識に立って分析を進めた。まず1986年に第一ステップとして配電システムに共通に使える総括的な「配電における経済評価の新しい手法」をまず確立し電気学会に発表した。電力損失評価方式を新しく確立した。年経費評価方式を確立し、資本系年経費と電力損失系年経費のクロスポイントが年経費ミニマムの状態を現すことを明らかにした。「架空配電主体概念」の「架空配電」システムの1つの形をA形、「地中配電主体概念」の「地中配電」システムの1つの形をD形として相互の経済評価を行った。その結果「地中配電主体概念」のD形が良い結果を示すことを確認した。寿命が長いこと、電力損失が少ないこと、運用の手間が格段にかからないことなどの理由により「地中配電主体概念」の「地中配電」システムが圧倒的な良い評価結果を示す。

以上総括して地中配電主体概念とし架空配電はサブという形とすることが今後のバランスのとれた解決策であるといえる。安全であり、美しく、金がかからず、入手がいらず、寿命が長く、電力損失が少なく、ゆとりがある。実現の為に解決すべき多くの問題があるが、実行しないとますます困難の発生が予測される。これがこの「地中配電方式の評価に関する研究」の結論であり、新しい提案である。

## 審査結果の要旨

配電システムは国民生活に直接影響をもち、経済的で安全確実な方式が求められている。これまでの配電方式は、道路の側面に電線を張る架空配電が主体であったが、本論文では地中配電を主体とした方式が、接触電圧の危険性、損失、経済性の面から総合的に評価して有利であることを主張している。このために各種接地方式と危険電圧、供給電力の大きさと過渡過電圧を検討し、架空配電方式の接地にかかわる問題点を指摘している。あわせて各種の配電方式を比較する評価方法を提案している。本論文はそれらの成果をまとめたもので全編5章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、将来の配電システムのあり方を接地方式を中心として検討している。配電システムの需要端で重要な危険接触電圧、接地極抵抗、システム接地、フレーム接地の視点から実験と分析を行い、供給電力が大きな場合に、低圧非接地方式に大きな過渡過電圧の発生する危険性のあることを指摘している。また供給電力と接地極抵抗の安全上の制限についても理論的に明らかにしている。

第3章では、架空配電を主体とする方式と地中配電を主体とする方式を比較検討している。安全性、経済性も含めた総合的な評価の結果、今後あるべき配電方式として200V・3対の星形結線から構成される400V級配電方式に妥当性のあることを述べている。また安全上中性線の確保の容易な3相5線式星形結線の採用を推奨している。

第4章では、配電システムを年経費で評価する方式と建設費で評価する方式について検討している。発送電システムと異なり、配電システムでは両方式の評価の結果が大幅に異なってくる。変圧器の配置の仕方や線路構成よりみて、年経費評価方式がより妥当な評価を与えることを明らかにし、各種配電方式について総合分析した結果、供給電力が1MVA/km<sup>2</sup>よりも大きくなると、地中配電を主体とする方式が有利になると評価している。これは有用な結果である。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、地中配電方式の評価について各種評価方式の提案を行い、配電システムの計画と運用について有用な知見を加えたものであり、電力工学の発展に寄与するところが少ない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。