

13. 多電極式活線接近警報装置の開発

大成建設㈱：*山岸 宏充・戸崎 一弥

1. 研究開発の背景

我国のように狭隘な国土で送配電線が発達した国においては、建設工事現場の近傍に送配電線が張られていることは珍しくなく、このような状況下では、移動式クレーン等を送配電線の近く又は直下で使用しなければならなくなる。

移動式クレーンは、それ自身が自走できるうえ、空中においてブームの伸縮、旋回、起伏を行うため、クレーンブームやワイヤーロープを送配電線に異常接近又は接触させて、玉掛者等の感電災害を引き起したり、又感電災害に至らなくても、送配電線の地絡事故となって、広い地域にわたって電気の供給が止まり、地域社会に大きな影響を与えることになる。

このような事故を防止するために、法規（労働安全衛生規則第349条）により、防止対策を義務づける一方、労働基準局長通達（第759号）で、送配電線へのクレーン等の接近限界距離を定めている。

しかし、毎年事故が絶えないことから、クレーンブーム等の活線接近警報装置の開発が期待されており、今までにも、電線の周囲の電位を検出して接近を警報する装置や、レーザー光線やテレビカメラを利用したクレーン作業範囲規制警報装置が開発されているが、それぞれ問題があり普及していない。

2. 研究開発の内容

本警報装置は、クレーンブーム先端に2つの球電極を縦に配置し、それぞれの電極が得る誘導電位の大小関係、最大誘導電位及び誘導電位差の3つの電位情報により、クレーンブーム先端の活線に対する位置を判断し、その動きを追尾して、危険領域で警報するものである。

第1図に本警報装置の概念図を示す。同図の活線は、警報する対象の一つである水平3相1回線の形態である。本装置は、次の2つのユニットで構成する。

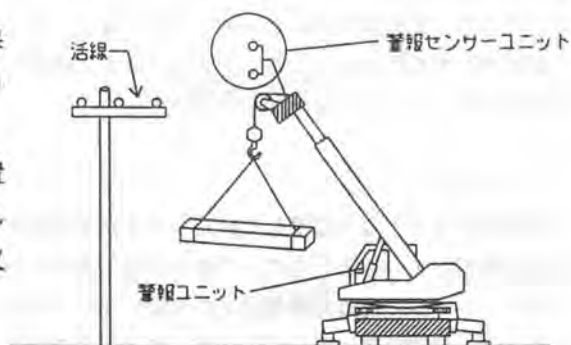
・警報センサーユニット

同ユニットには、2つの球電極を常に垂直を保つように縦に配置し、クレーンブーム先端に取り付ける。

2つの球電極には、それぞれ活線に対する位置に応じた電位が誘導され、電位検出センサーとして機能する。検出された誘導電位情報は、有線又は無線により警報ユニットに送られる。

・警報ユニット

同ユニットは、オペレーターハウスに取り付け



第1図 活線接近警報装置概念図

警報センサーユニットから送られてくる誘導電位情報を基に、クレーンブームの活線に対する位置を判断し、クレーンブームの状態に応じた警告や警報を、警報音、ディスプレイ等により、オペレーター、玉掛者に知らせる。

3. 球電極による誘導電位検出原理

第2図に、1つの球電極による誘導電位検出等価回路を示す。同図において、各インピーダンスの関係は、 $Z_0 \gg Z_1 \gg Z_2$ であるため、球電極に誘導される電位 e (V) は次式で示される。

$$e = \frac{Z_1}{Z_0 + Z_1 + Z_2} V_0 = \omega C_0 R_1 V_0 \text{ (V)}$$

同式から、球電極の誘導電位は、活線と球電極間の静電容量 C_0 で決定されることがわかる。

第3図に、同式で計算した水平3相1回線の活線の誘導電位分布を等電位線で示す。同図の座標系は、活線が対称であるから、3本の電線の中央を境にして片側を示しており、原点は、外側の電線である。そして、誘導電位は、点(1, 0)の電位を基準として規格化している。

同図から、球電極の誘導電位の等電位線は、原点から円形上に広がっていることがわかる。

4. 位置判断アルゴリズム

第4図に警報センサーユニットの概略図を示す。2つの電極を、それぞれ V_1 電極、 V_2 電極とし、誘導電位を V_1 、 V_2 とする。そして、このような構成を持つ警報センサーユニットの球電極の誘導電位から、次の3つの情報を得る。

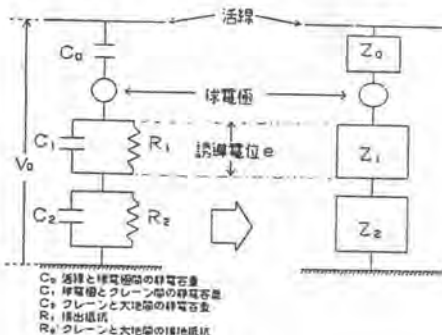
- ・ V_1 と V_2 の大小関係
- ・ 最大誘導電位 $V_{\max} = V_1$ 又は V_2
- ・ 誘導電位差 $V_{\text{dif}} = |V_1 - V_2|$

第5図に、2つの球電極(間隔 400mm, 直径50mm)の誘導電位の差 ($|V_1 - V_2|$) の分布を等電位線で示す。

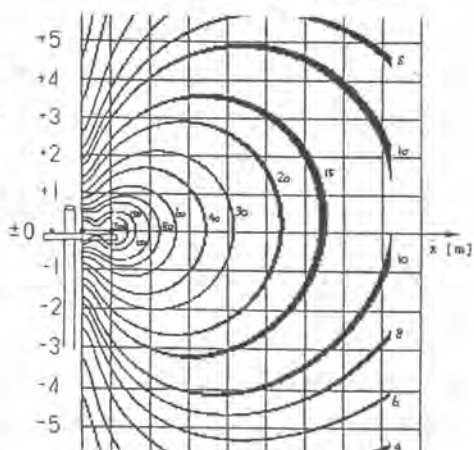
同図の座標系は、第3図と同様とし、第3図の基準電位を規格化している。同図から2つの球電極の誘導電位差の等電位線は、原点から上下にそれぞれ円形状に広がっており、誘導電位の等電位線とは異なった形状を示している。

第6図に、上記の3つの電位情報を用いた位置判断アルゴリズムの流れを示す。

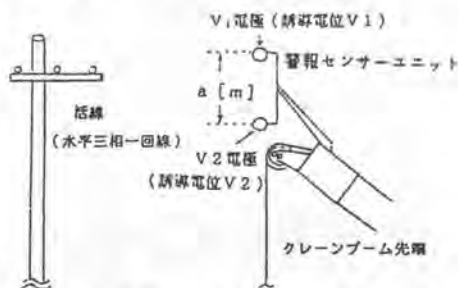
① V_1 と V_2 の大小関係により、クレーンブームの位置範囲を、次の3つの範囲の中から選ぶ。



第2図 球電極による誘導電位検出等価回路図



第3図 球電極の誘導電位分布



第4図 警報センサーユニット概略図

(a) $V_1 < V_2$ のとき

位置範囲は活線より上方 ($y > 0$ [m])

(b) $V_1 = V_2$ のとき

位置範囲は活線に水平 ($y = 0$ [m])

(c) $V_1 > V_2$ のとき

位置範囲は活線より下方 ($y < 0$ [m])

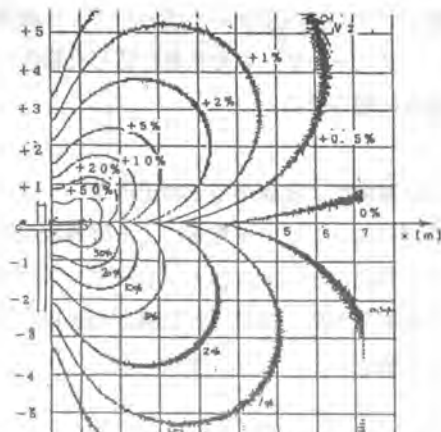
② クレーンブームの位置範囲が決定した後、最大誘導電位 V_{max} 、誘導電位差 V_{dif} を求める。

③ 最大誘導電位 V_{max} 、誘導電位差 V_{dif} の値から、それぞれの等電位線を定め、両者の交点を求める。両等電位線の交点は、警報センサーユニットの座標であり、クレーンブームの活線に対する位置となり得るため、位置判断を行うことができる。第7図に位置判断アルゴリズムの座標決定の模式図を示す。同図(a)(b)(c)は、 V_1 と V_2 の大小関係により分けられる位置範囲に対応している。各範囲において、最大誘導電位 V_{max} と誘導電位差 V_{dif} のそれぞれの等電位線の交点が、警報センサーユニットの位置となり、クレーンブームの活線に対する位置となっていることがわかる。

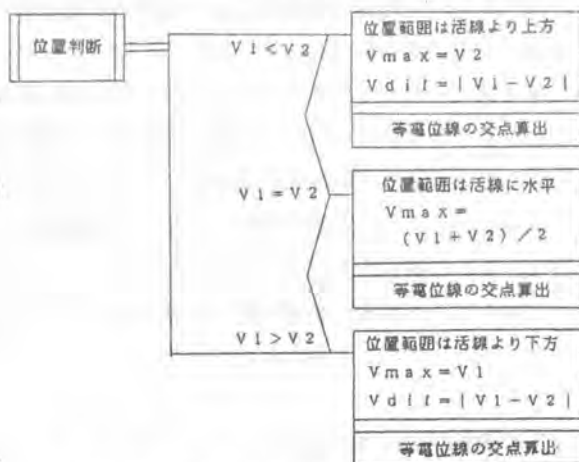
5. 活線の誘導電位測定

位置判断アルゴリズムを用いた活線接近警報装置を開発するに当たり、実際の活線の誘導電位を測定し、理論計算による等電位線と比較する。測定した活線は、水平3相1回線、線間電圧 6,600 (V) であり、第3図に示した活線と同様の形態である。

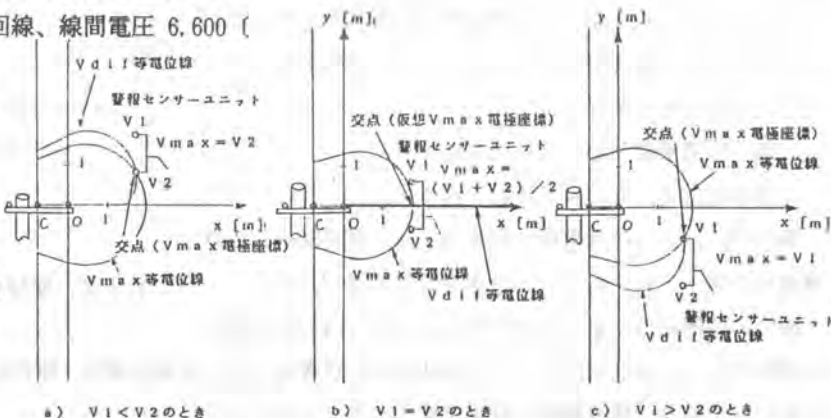
誘導電位を検出する警報センサーユニットとして、2つの球電極間を400 [mm]、電極の直径を50 [mm]とした測定用センサーユニットを用いる。又、測定用センサーユニットの測定点へのセット



第5図 2つの球電極の誘導電位差分布



第6図 位置判断アルゴリズムの流れ



a) $V_1 < V_2$ のとき
位置範囲は活線より上方
b) $V_1 = V_2$ のとき
位置範囲は活線に水平
c) $V_1 > V_2$ のとき
位置範囲は活線より下方

第7図 各位置範囲における V_{max} 、 V_{dif} 等電位線の交点算出及び
交点と警報センサーユニットの位置関係

は、高所作業車を用いる。

第8図に、理論計算による V_{max} の分布と、活線の誘導電位測定によって得られた測定値の比較を示す。同図において、理論計算による V_{max} の分布を円と直線により忠実に近似した等電位線として実線で表し、測定値はプロット点で表している。

同図において、測定値のプロット点は、理論計算による V_{max} 等電位線に沿った形状となっており、その値もほぼ一致している。従って、同図の理論計算による V_{max} 等電位線を、位置判断アルゴリズムに適用することができる。

第9図に、理論計算による V_{dif} の分布と、測定値との比較を示す。同図において、測定値のプロット点は、理論計算による V_{dif} 等電位線に沿っており、形状は一致しているが、その値は全体的に理論計算値よりも大きくなっており、測定値を補正することが必要である。

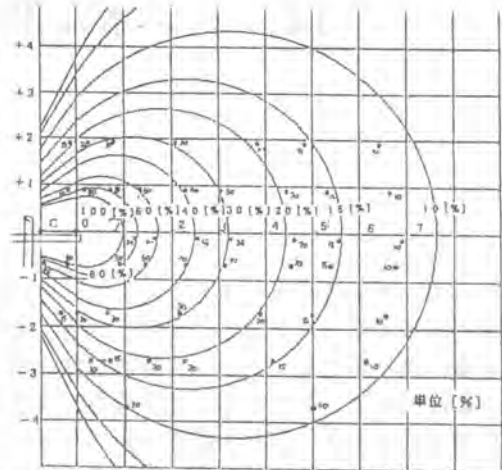
6. 位置判断アルゴリズムの確認

上記において、 V_{max} 、 V_{dif} の理論計算による等電位線の位置判断アルゴリズムへの適用が可能になった。そこで、位置判断アルゴリズムを計算機上で実現し、ディスプレイ上に位置を表示すると共に、測定結果との比較により、その有効性を確認した。

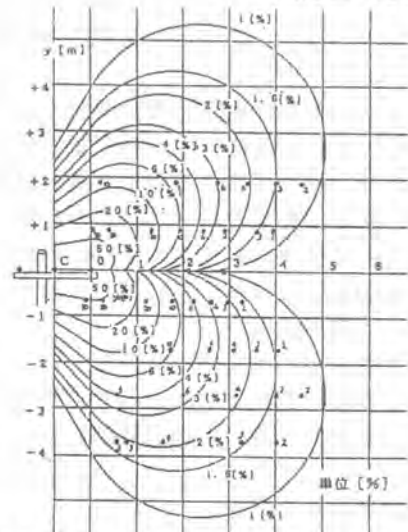
測定値の V_{dif} について全て0.6を掛け補正した結果、活線より4m以内の範囲について、ほぼ正確にクレーンブームの活線に対する位置を判断でき、位置判断アルゴリズムの有効性を確認できた。

7. まとめ

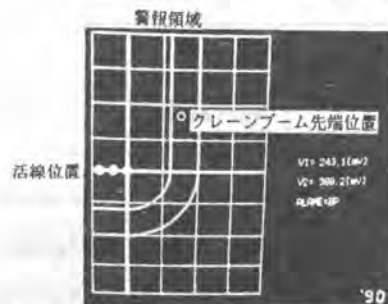
本研究開発において、位置判断アルゴリズムが確立したことにより、今後さまざまな高圧活線の架線形態への対応、さらに6万V級までの特別高圧線への対応を加え、実用的な活線接近警報装置の開発に結び付けていく。



第8図 理論計算の V_{max} 等電位線と
測定値の比較



第9図 理論計算の V_{dif} 等電位線と
測定値の比較



第10図 ディスプレイ上にクレーンブーム先端の位置を示した一例