

事前報告書

2013年 2月 18日
山梨大学名誉教授 鈴木嘉彦

昨年(2012年)9月27日に山梨県環境整備センター安全管理委員会に提出した最終報告書において、考察が十分でなかった点が明確になった。今回の異常検知原因究明においても重要な考察のポイントとなるので、漏水検知システム異常検知調査委員会の開催にあたり事前報告書として提出する。

事前報告のポイントは、異常検知時点における漏水検知システムの等価回路に関するものである。昨年9月27日提出の最終報告書では、測定電極やケーブルに自己インダクタンス成分が存在するという想定での考察が行われていなかった。最終報告書提出後、明野最終処分場の具体的な検知システムのケーブル等の配置について考察した。その結果、図1に示される通り半径100メートル以上の測定電極とケーブルの大きなループが存在し、このループの電気的な働きを考慮する必要があることが明確になった。つまり等価回路はケーブル等による抵抗だけでなく、自己インダクタンスが存在する。この自己インダクタンスの値に関しては、資料3に示されるとおり、ある程度の精度で定量化可能である。

抵抗と自己インダクタンスが存在することを前提にすると、異常検知システムのより正確な等価回路が導かれる。測定用電圧源を含む遮水シートの下側の電極とケーブルによる等価抵抗 R_0 、インダクタンス L_0 、上側のケーブルと電極の等価抵抗 R_1 、等価インダクタンス L_1 が存在する。上下の RL 回路の間に異常が検知された遮水シートの等価 LCR 回路が存在する。さらに、上側測定電極間には浸出水などにより電極間にインピーダンスが形成される。これを各測定電極 i に対応するインピーダンス Z_i とし、全体の等価回路が資料1のように示される。

異常検知の通電が発現した時点では、上下電極間の通電箇所の抵抗 R 、インダクタンス L 、キャパシタ C は損傷の状況で変化する。よって、LCR の値が定量化できれば通電の状況が推定できる。そこで、資料1のシステム全体の等価回路を想定し、遮水シートの LCR の素子値を決定する方法を示す。

R_0, L_0, R_1, L_1 はケーブルや電極の形状から資料3の方法で素子値が決まる。求めたい遮水シートの等価回路の L, C, R は資料2のインピーダンス Z で示される通り、角周波数 ω に対して、 V_0, I_0, I_1 を計測すると、恒等関係式を用いて素子値を決定することができる。

この手法を活用することにより、最終報告書において結論づけた「明野型通電は直接接触にいたる二段階前の大きさの荷重による通電として発現したものと考えられる」について、その正否を原理的には確認することができる。しかし、平成22年の異常検知の現場は残されておらず V_0, I_0, I_1 を計測することはできない。よって「明野型通電は直接接触にいたる二段階前の大きさの荷重による通電として発現したものと考えられる」という最終報告書の結論が正しいかどうかは現状では判定できない。

しかし、上下電極が直接接触したのではないことは確認できる。なぜならば前述した R_0, L_0, R_1, L_1 については素子値が推定できる。測定電圧源の ω が 80Hz であると、上下電極とケーブルによるインピーダンスは 1.3Ω 程度であり、もし直接接触だと仮定すると測定装置の 2A のヒューズが切れたはずである。しかし、ヒューズは切れなかった。つまり、遮水シートの等価抵抗はゼロではなく、相応の抵抗成分が存在したと考えられる。ただし、これ以上の詳細な考察は現場が残されていないので困難である。

今回の原因究明においては、現場が保存されている。現場が保存されている間に、漏水検知システムを利用し、角周波数 ω を変化させながら、それぞれの ω に対する V_0, I_0, I_1 を複素数値として計測し、 R_0, L_0, R_1, L_1 を用いて遮水シートの等価 L, C, R を推定することが可能である。これにより、異常検知時点における遮水シートの電気的特性が明確になり、損傷の状況が確認できる可能性が高い。

以上、事前報告として提出する。

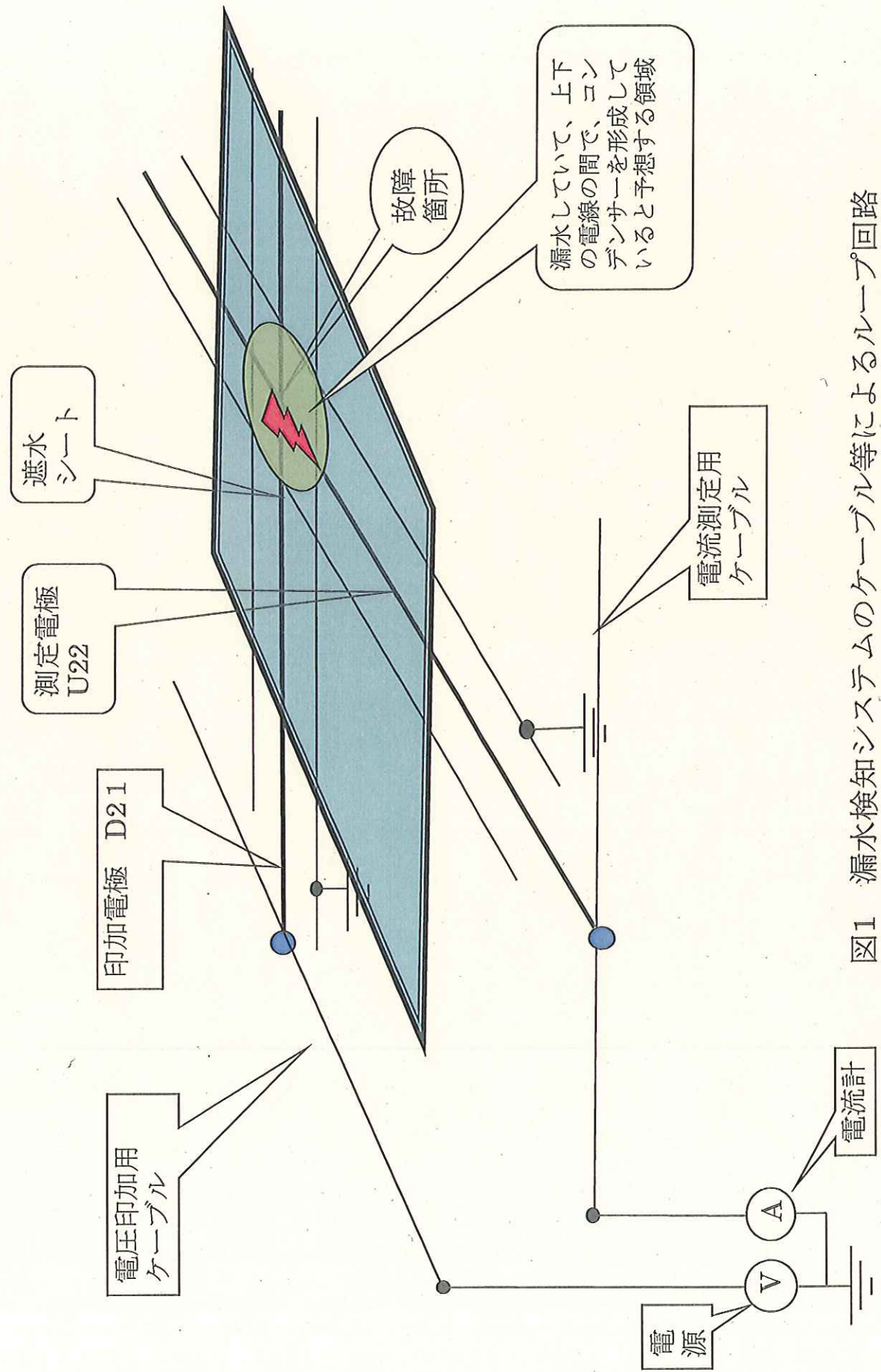
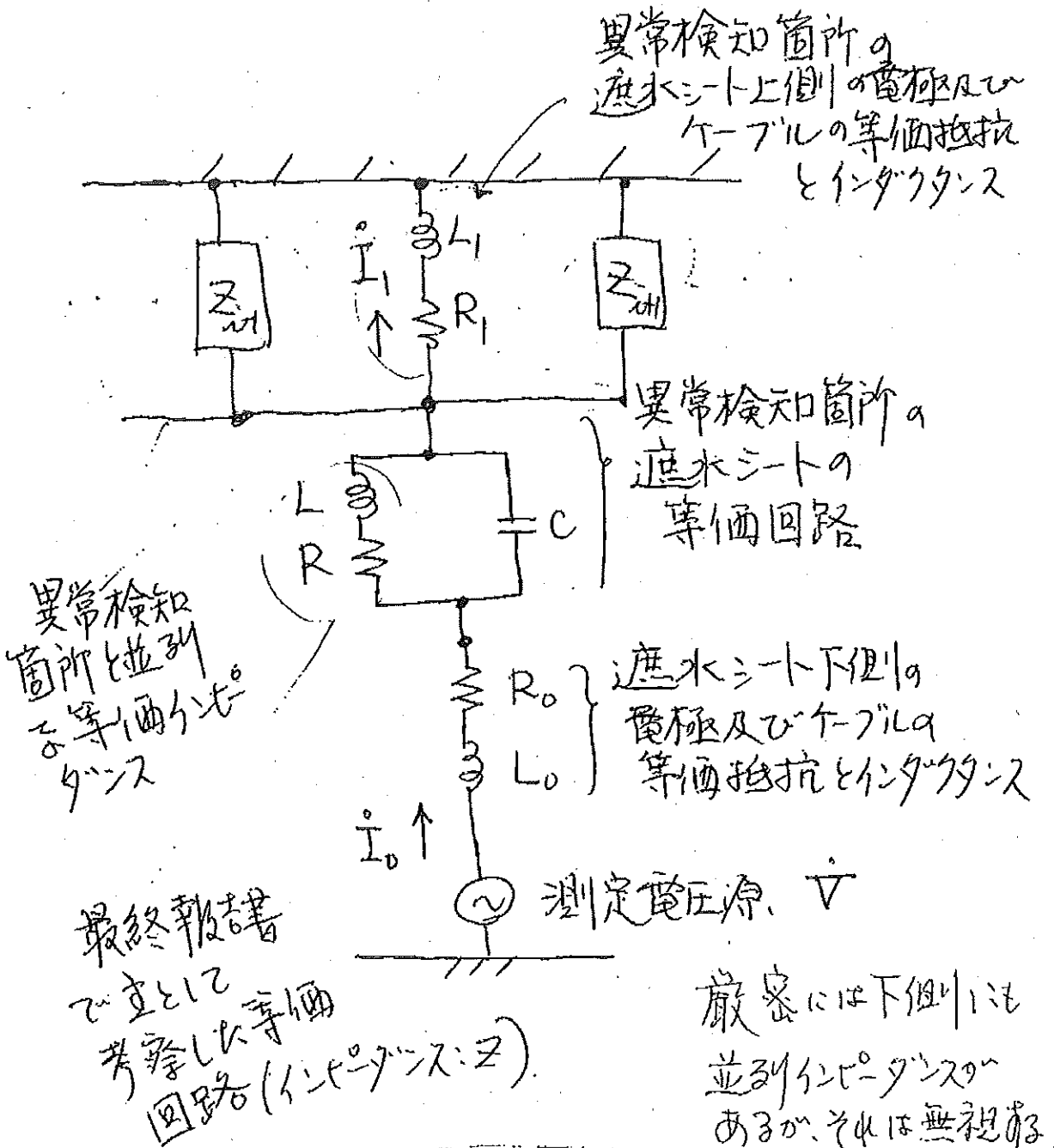


図1 漏水検知システムのケーブル等によるループ回路

鈴木嘉寿 資料 1.

遮水シートの等価電気回路を含む全体の等価回路



(R_0, L_0, R_1, L_1 は測定回路の形状と
電気特性からある程度の精度で推定可能)

★ 遮水シートの L, C, R を V, I_0, I_1 から計測

鈴木嘉彦 資料2

LCRa 推定方法

計測量 : \dot{V} , \dot{I}_0 , \dot{I}_1

所余(計算に必要の値) : R_0, L_0, R_1, L_1

$$\begin{aligned} Z &= \frac{1}{\frac{1}{R+j\omega L} + j\omega C} \\ &= \frac{R + j\omega[L - C(\omega^2 L^2 + R^2)]}{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega RC)^2} \\ &= \frac{\dot{V} - (R_0 + j\omega L_0)\dot{I}_0 - (R_1 + j\omega L_1)\dot{I}_1}{\dot{I}_0} \end{aligned}$$

直線のインダクタンス、長方形のループのインダクタンス、平行平板の静電容量の計算

半径R(m), 長さ l (m)の電線の自己インダクタンス。

ただし電線は非磁性体で、電流は導体表面に一様密度で流れるものとする。

電子工学演習シリーズ 電気磁気学演習 川上 正光、末松安晴、古川静二郎 共著 p13

8 オーム社

数値の例 1

真空の答辞率 $\mu_0=4\pi*1e-$	1.2570E-06	$L = \frac{\mu_0 \cdot l}{2\pi} \left(\log \frac{2 \cdot l}{R} - 1 \right)$	L =	7.836E-04
π	3.1400E+00		$\omega L =$	3.937E-01
銅線の半径 R	2.5000E-03			
導線の長さ l	3.4000E+02			

半径R(m)の導線で作った長方形回路 a X b の自己インダクタンス。ただし $R \ll a, b$ 透磁率は μ_0 とする
改定 電磁学演習 石川静一著 学献社 p324 より

$$L = \frac{\mu_0}{\pi} \left(-a \log_e(\sqrt{a^2 + b^2} + a) - b \log_e(\sqrt{a^2 + b^2} + b) + (a+b) \log_e\left(\frac{2ab}{R}\right) + 2\sqrt{a^2 + b^2} - \frac{7}{4}(a+b) \right)$$

改定 電磁学演習 石川静一著 学献社 p324 より

数値の例 1

真空の答辞率 $\mu_0=4\pi*1e-$	1.2570E-06	$L1 = \frac{\mu_0}{\pi} (-a \log_e(\sqrt{a^2 + b^2} + a))$	-2.163E-04
π	3.1400E+00	$L2 = \frac{\mu_0}{\pi} (-b \log_e(\sqrt{a^2 + b^2} + b))$	-1.473E-04
銅線の半径 R	2.5000E-03	$L3 = \frac{\mu_0}{\pi} (a + b) \log \frac{2ab}{R}$	1.057E-03
長方形の寸法 a	1.0000E+02	$L4 = \frac{\mu_0}{\pi} (2\sqrt{a^2 + b^2})$	9.773E-05
長方形の寸法 b	7.0000E+01	$L5 = -\frac{\mu_0}{\pi} \frac{7}{4} (a + b)$	-1.191E-04
		$L=L1+L2+L3+L4+L5$	6.725E-04
		測定ループのインダクタンス分 ωL	3.378E-01

		平行平板の静電容量 (電極間隔d、電極面積S)	$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_s S}{d}$
			C = 1.112E-07
真空の誘電率 ϵ_0	8.8540E-12		
媒質の比誘電率 ϵ_s	8.0000E+01		
電極の面積S 半径rの円板とする $r =$	5.0000E-01		
$S =$	7.8500E-01		
電極間隔 $d =$	5.0000E-03	故障箇所の静電容量によるリアクタンス分 $\frac{1}{\omega C} =$	1.790E+04

ループの全インピーダンス	$Z = R_0 + j\omega L_0 + \frac{1}{\frac{1}{R} + j\omega C}$ $= R_0 + j\omega L_0 + \frac{R}{1 + j\omega CR}$ $= R_0 + \frac{R}{1 + (\omega CR)^2} + j(\omega L_0 - \frac{\omega CR^2}{1 + (\omega CR)^2})$
--------------	--

ケーブル等の抵抗 $R_0 =$	1.0000E+00
ケーブル等のインダクタンス $\omega L =$	3.378E-01
故障箇所の並列抵抗 $R =$	1.0000E+05
故障箇所の静電容量 $1/\omega C =$	1.7899E+04

$B1 = R$	1.0000E+05	抵抗分	$Z_r = R_0 + \frac{R}{1 + (\omega CR)^2}$	3.1052E+03
$B2 = 1 + (\omega CR)^2$	3.2215E+01			
$B3 = \omega CR^2$	5.5870E+05	リアクタンス分	$Z_i = \omega L_0 - \frac{\omega CR^2}{1 + (\omega CR)^2}$	-1.734E+04

ループを流れる電流 $I =$	$I = I_r + jI_i = \frac{E}{Z} = \frac{E}{Z_r + jZ_i} = \frac{EZ_r}{Z_r^2 + Z_i^2} - j \frac{EZ_i}{Z_r^2 + Z_i^2}$		
電源の電圧 $E =$	5.0000E+00	実数部の電流 $I_r =$	5.002E-05
		虚数部の電流 $I_i =$	2.793E-04

$$L = \left(\frac{1}{2} \mu_s + 2 \log \frac{D}{r} \right) \times 10^{-1}$$

往復2導線のインダクタンス、電線1条当たり、1mごとの値、

3.8691E-04