携帯型低インピーダンスメータ

増田 好治*・一條 文二郎**・藤井 道彦*

The Portable Type of Low-Impedance Meter

Yoshiharu MASUDA*, Bunjiro ICHIJO**
and Michihiko FUJII*

Recently in the field of agriculture, demands for convenient measurement of water contents in rockwool and sand, concentration of nutrient solution, and plant physiological information with the change of environments, are increasing. This paper shows the characteristics and applications of resistance-capacitance meter composed of two resonant circuits, which is developed to solve these problems. By this resistance-capacitance meter, capacitance and resistance of specimen can be measured by both zero method and deflection method, and small changes in resistance can be measured by deflection method. Measurement sensitivity can be changed freely by fitting values of circuit elements (capacitor) adequately. Since circuit composition of this measurement instrument is very simple, demands for the one of small size and portability are satisfied. Measurement of capacitance and resistance corresponding to the water contents of sand including electrolyte were shown as the applications, and continuous measurement of water status in rice, though it has been regarded as difficult, and the effect of magnetic field on capacitance and resistance of the leaf of plants were shown as the example for detecting plant physiological information.

Key Words: low-impedance, capacitance, resistance, plant physiological information, magnetic field

1. はじめに

最近、農業の分野においてロックウールや砂地の中の水分量や培養液濃度の測定が可能で、しかも小型で低価格の測定器に対する要求が高まっている。また、植物を生育状態のままで、その環境要因の変化に対する生体情報を簡便に測定したいという要求も強い¹⁾。これまで、試料の等価並列抵抗にして、無限大から約 20 オームという広範囲において、その抵抗値の影響を受けずに試料の容量値、および抵抗値の測定が可能な高周波抵抗容量計がいくつか開発された^{2)~5)}。

しかし、これらの抵抗容量計はいずれも 4 個あるいは 3 個の同調回路から構成されるので、それらに付随する回路素子を考慮すると、測定器として組み上がったものはかなりの大きさとなり携帯型としては不向きであった。

本論文は、新しく開発された 2 個の同調回路と 1 個の

水晶発振子から構成され、低インピーダンスおよびそれらの微小変化の測定が可能な携帯型抵抗容量計の動作原理、回路特性および応用例について述べる。

2. 低インピーダンスとその微小変化の測定原理

Fig. 1 は測定回路図である。2 個の同調回路に用いられるコイルは同じ構造に作られているので、そのインダクタンスおよびステップアップ・レシオはそれぞれ等しい ($L_0 = L_1$, $Q_0 = Q_1$)。第 1 同調回路がコンデンサ C_0 を介して高周波発信器に接続され、第 2 同調回路がコンデンサ C_{01} を介して第 1 回路に接続される。(R_x , C_x) は試

Fig. 1 Measuring circuit diagram

* 静岡大学教育学部 静岡市大谷 836

** 浜松衛生短期大学 浜松市三方原町 3453

* Faculty of Education, Shizuoka University, Shizuoka

** Hamamatsu Hygienic College, Hamamatsu

(Received March 8, 1993)

(Revised May 7, 1993)

料の抵抗および容量である。 L_x は電極と測定器を接続するリード線(同軸ケーブル)のインダクタンスであり、 $\omega^2 L_x C_2 = 1$ の条件を満足させることにより、試料の抵抗 R_x が容量測定に及ぼす影響を取り除くことができる^{3),5)}。この $\omega^2 L_x C_2 = 1$ の条件による効果および3端子の小型高周波発信子の使用により同調回路を減らすことが可能となった。可変抵抗 R_v が接続された第1回路は R_x (たとえば培養液濃度)を測定する働きをし、第2回路は C_x (たとえば水分量)を測定する働きをする。

2.1 零位法による C_x の測定

Fig. 1において、端子電圧 e_1, e_2 は、つぎの関係が満足されたとき最大値をとり、 e_p に対して 90° の位相差を生じる⁹⁾。

$$\omega^2 L_0 (C_0 + C_{0v} + C_{01}) = 1$$

$$\omega^2 L_1 \left(C_{01} + C_v + C_{v1} + \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right) = 1$$

上の条件を得るためには、スイッチ S_1 を閉じ、 e_1 または e_p が最大になるように C_{0v} を調整し、つぎに、スイッチ S_1 を開いた状態で電圧 e_2 または e_x が最大になるように C_v を調整する。出力 I_{gc} は、 $I_{gc} = 4K e_p e_x \tan \theta$ で表わされる。

ここに、 K は検出器 P の定数、 θ は C_x による e_x の位相変化量である。したがって、試料(C_x, R_x)による容量出力 I_{gc} は次式で表わされる。

$$I_{gc} = 4KK_1K_2 \cdot \frac{\omega^2 C_0^2 R_0^2 \cdot \omega C_{01} R_1 \cdot R_x (1 + C_2/C_1)^2}{\{R_1(1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p) + R_x(1 + C_2/C_1)^2\}^2} \cdot \frac{\omega C_x R_x R_1 e_s^2}{(1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p + \omega^2 C_{01}^2 R_1 R_0)^2} \quad (1)$$

(C_x, R_x)に対する出力 I_{gc} はつぎの条件を満足したとき最大となる。

$$R_x(1 + C_2/C_1)^2 = R_1/2 \quad (2)$$

$$\omega^2 C_{01}^2 R_1 R_0 = \omega^2 C_{01}^2 R_1^2 = 3 \quad (\because R_1 = R_0) \quad (3)$$

$$\omega^2 C_0^2 R_0 r_p = 2 \quad (4)$$

(2)~(4)式およびFig. 1における R_{0r} から、インピーダンス・マッチングの条件 $r_p = R_{0r}$ が満足されたとき容量出力は最大となり、その最大値 I_{gcm} は次式で表わされる。

$$I_{gcm} = 4KK_1K_2 \cdot \frac{1}{12\sqrt{3}} \cdot \frac{R_0}{r_p} \cdot \omega C_x R_x e_s^2 \quad (5)$$

2.2 零位法による R_x の測定

Fig. 1において、スイッチ S_2 が開いた状態における e_{R1}, e_{R2} はそれぞれ次式で表わされる。

$$e_{R1} = K_{1r} e_1 = \frac{K_{1r} \cdot \omega C_0 R_0 e_s}{1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p + \omega^2 C_{01}^2 R_1 R_0} \quad (6)$$

$$e_{R2} = K_{2r} e_2 = \frac{K_{2r} \cdot \omega C_0 R_0 \cdot \omega C_{01} R_1 e_s}{1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p + \omega^2 C_{01}^2 R_1 R_0} \quad (7)$$

試料の接続される前は、 $e_{R1} = e_{R2}$ であり振幅検出器 A の出力 I_{gR} は零である。スイッチ S_2 が閉じられ(試料が接

続された状態)、 P の容量出力 I_{gc} が ΔC_{v1} によって零にされたときの e_{R1}, e_{R2} の電圧 e_{R1x}, e_{R2x} はそれぞれ次式で表わされる。

$$e_{R1x} = \frac{K_{1r} \cdot \omega C_0 R_0 \{R_1 + R_x(1 + C_2/C_1)^2\} e_s}{\left[R_1(1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p) + R_x(1 + C_2/C_1)^2 \right] \times (1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p + \omega^2 C_{01}^2 R_1 R_0)} \quad (6')$$

$$e_{R2x} = \frac{K_{2r} \cdot \omega C_0 R_0 \cdot \omega C_{01} R_1 R_x (1 + C_2/C_1)^2 e_s}{\left[R_1(1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p) + R_x(1 + C_2/C_1)^2 \right] \times (1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p + \omega^2 C_{01}^2 R_1 R_0)} \quad (7')$$

ここで、 $\Delta e_{R1} = e_{R1} - e_{R1x}$, $\Delta e_{R2} = e_{R2} - e_{R2x}$ とくと、それぞれ次式が得られる。

$$\Delta e_{R1} = -e_{R1} \times \frac{\omega^2 C_{01}^2 R_1^2 R_0}{\left[R_1(1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p) + R_x(1 + C_2/C_1)^2 \right] \times (1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p + \omega^2 C_{01}^2 R_1 R_0)} \quad (8)$$

$$\Delta e_{R2} = e_{R2} \times \frac{R_1(1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p)}{\left[R_1(1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p) + R_x(1 + C_2/C_1)^2 \right] \times (1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p + \omega^2 C_{01}^2 R_1 R_0)} \quad (9)$$

試料の抵抗値による出力電圧 Δe_{out} は次式となる。ただし、 $e_{R1} = e_{R2} = e_R$ とする。

$$\Delta e_{out} = |\Delta e_{R1}| + |\Delta e_{R2}| = e_R \times \frac{R_1(1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p + \omega^2 C_{01}^2 R_1 R_0)}{\left[R_1(1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p) + R_x(1 + C_2/C_1)^2 \right] \times (1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p + \omega^2 C_{01}^2 R_1 R_0)} \quad (10)$$

(10)式において、容量出力が最大感度となる条件式、すなわち $\omega^2 C_{01}^2 R_1 R_0 = 1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p$ を代入すると次式が得られる。

$$\Delta e_{out} = e_R \cdot \frac{2}{1 + 2 \cdot R_x(1 + C_2/C_1)^2 / R_1} \quad (10')$$

振幅検出器 A を可変抵抗器 R_v の可動子 X を調整することにより零とし、既知抵抗 R_x と可変抵抗器 R_v の角度との校正曲線から試料の未知抵抗 R_x が決定される。

2.3 偏位法による ΔR_x の測定

試料の抵抗 R_x の微小変化 ΔR_x による出力 I_{gR} について考える。 U をつぎのようにおくと、(6'), (7')式から次式が得られる。 $U = R_1(1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p) + R_x(1 + C_2/C_1)^2(1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p + \omega^2 C_{01}^2 R_1 R_0)$

$$\Delta e_{R1} = -e_{R1x} \frac{\omega^2 C_{01}^2 R_1^2 R_0}{U} \times \frac{R_x(1 + C_2/C_1)^2}{R_1 + R_x(1 + C_2/C_1)^2} \cdot \frac{\Delta R_x}{R_x} \quad (11)$$

$$\Delta e_{R2} = e_{R2x} \cdot \frac{R_1(1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p)}{U} \cdot \frac{\Delta R_x}{R_x} \quad (12)$$

しかし、 $I_{gR} = 0$ の状態においては $e_{R1x} = e_{R2x} = e_{Rx}$ であるので次式が得られる。

$$\begin{aligned} \Delta e_{out} &= |\Delta e_{R1}| + |\Delta e_{R2}| = e_{R2} \cdot \frac{1}{U} \cdot \frac{\Delta R_x}{R_x} \\ &\times \left\{ \frac{\omega^2 C_0^2 R_0^2 R_1 R_x (1 + C_2/C_1)^2}{R_1 + R_x (1 + C_2/C_1)^2} \right. \\ &\quad \left. + R_1 (1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p) \right\} \\ &= e_{R2} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_x (1 + C_2/C_1)^2} \cdot \frac{\Delta R_x}{R_x} \quad (13) \end{aligned}$$

結局 ΔR_x による出力は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} \Delta e_{out} &= \frac{K_{2r} \cdot \omega C_0 R_0 \cdot \omega C_0 R_1 \cdot R_x (1 + C_2/C_1)^2 e_s}{\left\{ R_1 (1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p) + R_x (1 + C_2/C_1)^2 \right\}} \\ &\quad \times \left\{ (1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p + \omega^2 C_0^2 R_1 R_0) \right\} \\ &\quad \times \frac{R_1}{R_1 + R_x (1 + C_2/C_1)^2} \cdot \frac{\Delta R_x}{R_x} \quad (13') \end{aligned}$$

(13')式は、 R_x による出力を可変抵抗器 R_0 により零にした状態における ΔR_x による出力を表わす。また(13')式における Δe_{out} は、一定の $\Delta R_x/R_x$ に対してつぎの条件を満足したとき最大値をとる。

$$\begin{aligned} R_x (1 + C_2/C_1)^2 \\ = R_1 \cdot \sqrt{\frac{1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p}{1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p + \omega^2 C_0^2 R_1 R_0}} \quad (14) \end{aligned}$$

容量出力の最大感度の条件 $\omega^2 C_0^2 R_1 R_0 = 1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p$ を(14)式に代入することにより次式が得られる。

$$R_x (1 + C_2/C_1)^2 = R_1/2 \quad (14')$$

2.4 偏位法による C_x , R_x の測定

(1)式において、 $R_x (1 + C_2/C_1)^2$ の値が R_1 に比べてはるかに大きいとき、すなわち $R_x (1 + C_2/C_1)^2 \gg R_1$ のとき、(1)式は近似的に次式で表わされる。

$$\begin{aligned} I_{gc} &= 4KK_1K_2 \\ &\times \frac{\omega^2 C_0^2 R_0^2 \cdot \omega C_0 R_1 \cdot \omega C_x R_1 e_s^2}{\left\{ (1 + C_2/C_1)^2 (1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p) \right.} \\ &\quad \left. + \omega^2 C_0^2 R_1 R_0 \right\}} \quad (1') \end{aligned}$$

この出力は R_x の値が無限大のときの C_x に対する検出器の振れを示している。そこで、 R_x が無限大のとき、および有限の R_x のときの C_x に対する出力 I_{gc} をそれぞれ $I_{gcR\infty}$, I_{gcR_x} とすると、その比 $I_{gcR\infty}/I_{gcR_x}$ は $R_x (1 + C_2/C_1)^2$ の値が小さくなるにしたがって1より大きくなる。Table 1の左欄は(1)式からの計算結果である。

つぎに R_x の測定について述べる。(6)と(7)式から次式が得られる。

$$\begin{aligned} \Delta e_{R1} &= -\frac{K_{1r} \cdot \omega C_0 R_0 \cdot \omega^2 C_0^2 R_1 R_0 e_s}{(1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p + \omega^2 C_0^2 R_1 R_0)^2} \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1} \\ &= -e_{R1} \cdot \frac{\omega^2 C_0^2 R_1 R_0}{1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p + \omega^2 C_0^2 R_1 R_0} \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1} \quad (15) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta e_{R2} &= \frac{K_{2r} \cdot \omega C_0 R_0 \cdot \omega C_0 R_1 (1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p) e_s}{(1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p + \omega^2 C_0^2 R_1 R_0)^2} \end{aligned}$$

Table 1 Results calculated from equation (1') and its experimental results

Calculated results			Experimental results		
$\omega^2 C_0^2 R_0 r_p = 2$ $\omega^2 C_0^2 R_1 R_0 = 1$ $R_1 = 17 \text{ k}\Omega$ $(1 + C_2/C_1)^2 = 3700$ $f = 10^7 \text{ Hz}$					
R_x (ohm)	I_{gc}	$\frac{I_{gcR_{x\infty}}}{I_{gcR_x}}$	R_x (ohm)	I_{gc} (μA)	$\frac{I_{gcR_{x\infty}}}{I_{gcR_x}}$
50	0.0148 K ₀	1.150	50	54.0	1.157
100	0.0158	1.060	100	59.0	1.060
200	0.0163	1.035	200	60.5	1.033
500	0.0167	1.009	500	62.0	1.008
∞	0.0169	1.000	∞	62.5	1.000

$$\begin{aligned} &\times \frac{\Delta R_1}{R_1} \\ &= e_{R2} \cdot \frac{1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p}{1 + \omega^2 C_0^2 R_0 r_p + \omega^2 C_0^2 R_1 R_0} \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1} \quad (16) \end{aligned}$$

ここで $e_{R1} = e_{R2} \equiv e_{R0}$ とおくと、 ΔR_1 による出力は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} \Delta e_{out} &= |\Delta e_{R1}| + |\Delta e_{R2}| = e_{R0} \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1} \\ &= e_{R0} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_x (1 + C_2/C_1)^2} \quad (17) \end{aligned}$$

(17)式は R_x による出力 I_{gR} であるが、 $R_x (1 + C_2/C_1)^2 \gg R_1$ の条件のもとでは次式が得られる。

$$\Delta e_{out} = \frac{R_1}{R_x (1 + C_2/C_1)^2} \cdot e_{R0} \quad (17')$$

このようにして検出器 P および A の振れから C_x , R_x の値を測定することができる。

3. 測定回路の特性

Fig. 2 および Fig. 3 は、周波数 3 MHz において、結合コンデンサ C_{01} の値に対する容量出力 I_{gc} の計算値および実験結果である。Fig. 4 は(1)式における $(1 + C_2/C_1)^2$ に対する出力 I_{gc} の計算結果と実験結果である。(2)式の条件が良く満足されていることがわかる。Fig. 5 は R_x による出力 I_{gR} を零にしたときの R_x の値と可変抵抗器 R_0 のダイヤル目盛りを調べた結果の一例である。 R_x の測定範囲は C_2 と C_1 の比 C_2/C_1 の値を選ぶことにより可変できる。したがって R_0 のダイヤル目盛りから試料 (C_x , R_x) の R_x の値を測定することができる。Fig. 6 は試料の R_x および $G_x (= 1/R_x)$ と抵抗出力 I_{gR} との関係を示す実験結果である。Fig. 7~8 はスイッチ S_2 を閉じ、出力 I_{gR} を零にした状態で R_x に1%の変化を与えたときの R_x と出力 I_{gR} に関する実験結果である。(14')式を満足したとき $\Delta R_x/R_x$ に対する最大感度が得られることがわかる。Fig. 9 はいろいろな R_x の値における C_x に対する容量出力 I_{gc} の関係を示すものである。また、Table

Fig. 2 Calculated results showing the relation between the output I_{gc} and C_{01} with R_x being taken as parameter at 3 MHz

Fig. 4 Calculated and experimental results showing the relation between the output I_{gc} and $(1 + C_2/C_1)^2$ for C_x

Fig. 3 Experimental results showing the relation between the output I_{gc} and C_{01} with R_x being taken as parameter at 3 MHz

Fig. 5 Relation between R_x and the dial degree of variometer R_v which reduce the output I_{GR} to zero

1の右欄に示す $I_{gCRX\infty}/I_{gCRX}$ の実験値は計算値と良く一致する。

4. 応用例

Fig. 10 は、この携帯用低インピーダンスメータを用いて、3種類の溶液濃度において、砂の中の水分量に対す

る容量値、抵抗値の関係を調べたものである。図に示した電極は、ステンレス製の針(中央が電圧側、外側2本がアース側)をアクリル材に固定したもので、BNCコネクタを介して同軸ケーブルで測定器に接続される。つぎに、本測定器を植物生体情報の検出に用いた例を示す。イネの茎の静電容量を測定することにより、イネの水分状態の連続測定を試みた。Fig. 11 に示すように穂首節から約10 cm 下の位置に導電性テープを巻いて電極とし、再給水に伴う電極間の茎内静電容量の変化を30秒ごとに測定した。供試品種はインド型陸稻の Salumpikit を用い、

Fig. 6 Experimental results showing the relation between the output I_{gr} and G_x , R_x

Fig. 7 Relation between the output I_{gr} and $R_x(\Omega)$ for the settled small change of $R_x(\Delta R_x/R_x = 0.01)$

Fig. 8 Relation between the output I_{gr} and $R_x(k\Omega)$ for the settled small change of $R_x(\Delta R_x/R_x = 0.01)$

Fig. 9 Relation between the output I_{gc} and C_x by deflection method with R_x being taken as parameter at 10 MHz

Fig. 10 Relation between moisture $H(\%)$ and R_x , I_{gc} of sands by deflection method at 10 MHz

測定前に灌水を停止して水ストレス処理をしてある。

Fig. 12 に示す曲線 A は、10 月 28 日(1992)における茎内静電容量の測定結果であり、再給水前の葉身は軽い萎凋を示していた。ここに、出力 $1\mu A$ は 0.0088 pF の容量

値を表わし試料の等価並列抵抗は約 $7\text{ K}\Omega$ であった。11 月 6 日(1992)における静電容量の測定結果を同図の曲線 B, C に示す。B は完全に萎凋し葉身が強く巻いた水ストレスの強い状態にあり、C は軽い萎凋を示し、葉身は軽く巻いた状態であった。これらの結果から、水ストレスが弱い条件下では静電容量値の回復が早く、水ストレスが強度になるとその回復に長時間を要す傾向があり、一番水ストレスの強い B の特性は再給水 40 分後もまだ回復が継続していることを示している。これらの特性は Fig.

13 に示すように、著者の 1 人がプレッシャーチェンバー法で測定した再給水後のイネの葉身水ポテンシャルの回復の特性とほぼ同じ傾向を示している。なお Fig. 12 に示す特性は、測定時の環境条件(測定時刻、天候)が異なるので、静電容量の値を直接比較することはできない。

つぎに植物の磁界に対する反応を調べた結果を示す。

Fig. 14 に示すごとく葉の表裏に、約 6×6 (mm) の導電性テープを貼って電極とし、中心半径 15 (mm) の鉄芯入りのコイルに電流を流して磁界を加えた。通電時の磁界の強さは約 1000 (G) であった。Fig. 15 は、カポックを対象としたときの磁界が葉の抵抗、静電容量に与える影響を調べたものである。磁界を与えると抵抗、容量値とも短時間で変化し、磁界を取り去ると短時間でもとの値に回復している。Fig. 16 はゼラニウムを対象とした結果であり、磁界を与えると抵抗、容量とも徐々にその値を変化させ、磁界を取り去ってもとの値に回復しない。もち

Fig. 11 Schematic diagram of measuring capacitance in rice and cross section of the measured part

Fig. 12 Changes in the output I_{gc} in rice after the reirrigation in drought pots. A shows the measurement on October 28, and B and C show the measurements on November 6

Fig. 13 Changes in leaf water potential in rice after the reirrigation under 4 levels of drought treatments. ψ_0 shows leaf water potential before the reirrigation

Fig. 14 Schematic diagram of measuring capacitance and resistance in kapok

Fig. 15 Effect of magnetic field on capacitance and resistance of the leaf of kapok

Fig. 16 Effect of magnetic field on capacitance and resistance of the leaf of geranium

ろん、葉を取り去って磁界をかけても(実際にはほぼ同形、同厚の亚克力板を用いた)、容量、抵抗の出力に変化の生じないことを確かめているので、この結果は、植物がその種類により磁界に対して異なった反応をすることを示している。

5. ま と め

以上述べたように、2個の同調回路から構成される低インピーダンスメータは、試料の抵抗および容量を零位法、偏位法のいずれの方法でも測定でき、同時に抵抗の微小変化の測定も可能である。回路構成が簡単であるので小型で安価に製作でき工業、医学、特に農業分野での応用が期待される。応用例でも述べたように、植物生体の葉身水ポテンシャルの測定にはサイクロメータ法とプレッシャーチェンバ法があり、サイクロメータ法には連続測定した例^{7)~9)}もあるがこれらは破壊測定が主であるため一般に連続測定は困難である。茎や葉身に破生通気腔と呼ばれる空隙をもっているイネについても、本実験により水分状態の連続測定の可能性が示唆された。

最後に、本研究は(財)「新技術開発財団」の助成を受けたことを付記します。

参 考 文 献

- 1) B. Ichijo, Y. Masuda, N. Ohkohchi and M. Fujino: Highly Stabilized Circuit for Measuring Very Low Impedance (R_x , C_x) and Their Small Changes (ΔR_x , ΔC_x) at High Frequencies with Some Applications, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, **IM-35-3**, 293/299 (1986)
- 2) B. Ichijo and T. Arai: A New Method of Measuring Dielectric Property of Very High Loss Materials at High Frequencies, IEEE Trans., **IM-19-1**, 73/77 (1970)
- 3) Y. Masuda, N. Nishikawa and B. Ichijo: New Methods of Measuring Capacitance and Resistance of

Very High Loss Materials at High Frequencies, IEEE Trans., **IM-29-1**, 28/36 (1980)

- 4) B. Ichijo, Y. Masuda and K. Abe: A Differential Capacitor Circuit for Very High and Low Dielectric Q-Factor Measurement at High Frequencies, IEEE Trans., **IM-22-4**, 315/319 (1973)
- 5) B. Ichijo, Y. Masuda, N. Tarao and M. Sada: Widely Extended New Method for Measuring the Impedance (C_x , R_x) at High Frequencies with Applications, IEEE Trans., **IM-38-1**, 64/73 (1989)
- 6) B. Ichijo: On the New Method of Measuring Dielectric Constant and Loss Angles of Semiconductors, J. Appl. Phys., **24-3**, 307/311 (1953)
- 7) J. S. Boyer: Relationship of Water Potential to Growth of Leaves, Plant Physiol., **43**, 1056/1062 (1968)
- 8) P. W. Brown, and C. B. Tanner: Alfalfa Water Potential Measurement, A Comparison of the Pressure Chamber and Leaf Dew-Point Hygrometer, Crop Sci., **240/244** (1981)
- 9) K. A. Shackel: Theoretical and Experimental Errors for in situ Measurements of Plant Water Potential, Plant Physiol., **75**, 766/772 (1984)

[著 者 紹 介]

増 田 好 治 (正会員)

1964年、静岡大学工学部電気工学科卒業。同年日本コロムビア(株)入社。66年静岡大学教育学部助手。82年教授、現在に至る。高周波低インピーダンスの測定法の開発およびその応用に関する研究に従事(工学博士)。電気学会、IEEE、日本ME学会などの会員。

一 條 文 二 郎

1929年、山梨高等工業専門学校電気科卒業。旅順工科大学、理化学研究所、東京大学総合試験所、海軍技術研究所、名古屋大学を経て、1952年静岡大学工学部に勤務。1972年退官。この間主として高周波精密計測に関する研究に従事。69年IEEEウィリアム・ジー・チューラー記念賞(I. G. Aグループ)、おなじく71年、論文賞(P. Mグループ)を受賞。静岡大学名誉教授。現在、浜松衛生短期大学付置生物環境医療工学研究所長。IEEE(L. M)の会員(工学博士)。

藤 井 道 彦

1988年、京都大学大学院農学研究科修士課程修了。1990年、同大学院農学研究科博士課程中退。同年静岡大学教育学部技術科助手、現在に至る。イネ、水ストレス、非破壊計測の研究に従事(農学修士)。