電解質溶液の拡散曲線回帰パラメータの 主成分分析による同定法[†]

藤 森 充*・上 迫 宏 計**・川 村 幹 也**

Identification Method of an Electrolytic Solution Based on Principal Component Analysis of Diffusion Curve Regression Parameter

Mitsuru FUJIMORI*, Hiroe UESAKO** and Mikiya KAWAMURA**

Measure of concentration based on conductivity meter is necessary to investigate the kind. It is desired to indicate the concentration and kind of solution at the same time. Then new measurement method for electrolytic solution was studied. The feature of fundamental concept of the method of this measurement is to record Q -variation of the printed coil sensor continuously by a Q -meter during trasmission and diffusion of a solution into pure water through the cellophane transmission membrane. Three items of the method were studied. Improvements were made on measurement cell for removing the air bubble and on model formula for regression of Q -variation. And the results of principal component analysis for regression parameters were applied to identification. Four kinds, four concentrations of electrolytic selected on solutions were measured and analyzed. As the result of principal component analysis, it was found that two principal components represented original parameters. Therefore the efficiency of principal component analysis for this measurement and possibility of identification were indicated.

Key Words: electrolytic solution, principal component, printed coil, identification, diffusion curve.

1. はじめに

一般に電解質溶液の濃度測定には導電率計が用いられている。これは、溶液の濃度により導電率が変化することを原理とする。しかし、濃度による導電率変化は、溶液の成分により異なるため、測定にはあらかじめ溶液の成分を知る必要がある。この方法で用いる測定用セルは、濃度による交換が必要であり、直接溶液中に浸し測定するため測定ごとに十分な洗浄を要し、ガラス製であるため丈夫でないなどの欠点がある。本研究では電解質溶液の濃度と成分を同時に識別できる小型・軽量の測定システムの開発を目的とした。

そこで、拡散現象を利用した電解質溶液の新しい同定法を考案した。セロハンを透過膜とし、純水中に被測定溶液を拡散させ、そのときの純水中の導電率の時間変化を、センサとして設置してある偏平スパイラルプリントコイル（以下プリントコイルと略記する）の Q 値の変化として測定する。この Q 値の変化には、溶液固有の情報が含まれている。この方法の特徴は、値の時間的变化を測定するという動的測定を行うので、測定結果を回帰分析することにより複数の判別パラメータを得ることができる点である。このパラメータにより溶液の濃度と成分を分類することができることは前に報告した^{1),2)}。本論文では判別の精度を向上させるために前報の方法に各種の改良を加えた結果を述べる。

(1) 装置および測定システムの改良である。槽の接合部を改良しセロハン膜の槽内装着を容易にし、また、測定槽の振動防止策、静電シールドによる安定化、供試溶液の供給量の高精度化を図った。

(2) Q 変化曲線を代表させるパラメータを得るた

[†] 第 33 回自動制御連合講演会で発表 (1990・11)

* 港湾職業訓練短期大学校 横浜市中区本牧ふ頭 1

** 東洋大学工学部 川越市鯨井 2100

* Harbor Polytechnic College, Yokohama

** Faculty of Engineering, Toyo University, Kawagoe
(Received June 20, 1991)

(Revised October 16, 1991)

めのモデル式を修正した。Q 値と濃度が比例関係にあるという点により得たモデル式を改め、溶液の導電率と濃度との関係が直線関係であることからモデル式を導出した。

(3) 前報の方法²⁾によれば回帰パラメータに管理図法を適用していたものを改め、主成分分析を適用し、独立で無相関な主成分値を抽出した。また、もとのパラメータと主成分値との関連を因子負荷量により示し、主成分値の物理的意味を考察した。

本論文では、4 種類、4 濃度の溶液について行ったデータ解析とその結果を示し、結論として拡散現象による濃度変化曲線から得られたパラメータを主成分分析の手法を用いて解析することによる溶液同定の意義について述べた。

2. 測定原理

2.1 本測定方法の原理

測定原理図を Fig. 1 に示す。純水と電解質溶液が、セロハン透過膜を隔てて分離しており、溶質イオンは、セロハン膜を透過して純水中に拡散し、純水の導電率は次第に上昇する。この変化を、純水中の底部にあるプリントコイルの Q 値の変化として測定する。溶液の拡散現象はその溶液の濃度や成分により異なることから、溶液情報は Q 値変化に含まれる。

Fig. 2 は溶液中におけるプリントコイルの等価回路である。ここで、L はコイルのインダクタンス、R はコイ

Fig. 1 Principle of measure

Fig. 2 Equivalent of the printed coil in solution

Fig. 3 Relation value between conductance and Q

ル自体の抵抗、 C_p は分布容量、 R_p は溶液の損失抵抗である。これより、プリントコイルのインピーダンス Z は (1) 式のようにになる。

$$Z = \frac{R \left(1 + \frac{R}{R_p} \right) + \frac{\omega^2 L^2}{R_p} + j\omega \{ L(1 - \omega^2 C_p L) - C_p R^2 \}}{(1 - \omega^2 C_p L + \frac{R}{R_p})^2 + \omega^2 \left(C_p R + \frac{L}{R_p} \right)^2} \quad (1)$$

R は R_p よりきわめて小さいことから、 $R \ll R_p$ 、 $R \ll 1/\omega C_p$ なる近似を用いると $\omega C_p R^2 \ll \omega L$ であることより $C_p R^2 \ll L$ であるので、 Z は (2) 式のようにになる。

$$Z = \frac{R + \frac{\omega^2 L^2}{R_p} + j\omega L(1 - \omega^2 C_p L)}{(1 - \omega^2 C_p L)^2 + \left(\frac{\omega L}{R_p} \right)^2} \quad (2)$$

以上の式から、センサとして用いるプリントコイルの溶液中での実効 Q は (3) 式のようにになる。

$$Q = \frac{\omega L(1 - \omega^2 C_p L)}{R + \frac{\omega^2 L^2}{R_p}} \quad (3)$$

この式から明らかなように、溶液の導電率の増加とともに R_p が減少すると、Fig. 3 のように Q 値は減少する。よって、溶液の導電率の変化をプリントコイルの Q 値の変化として測定できる。なお、測定条件下では C_p は 15 (pF) で一定である。

2.2 拡散理論の導入

Q 値の時間的変化を解析するために、 Q 値の変化を時間の関数として表現する回帰分析用モデル式を導出した。このモデル式は、槽中の濃度とコンダクタンスの関係および拡散理論⁶⁾により導いた。

Q_a を空気中のコイルの Q 、 Q_{p0} を純水中のコイルの Q 、 Q_p を溶液中のコイルの Q とすれば、 $Q_a = \omega L/R$ 、 $Q_{p0} = \omega L/R_{p0}$ 、 $Q_p = \omega L/R_p$ である。ただし、 R は空気中のコイルの抵抗、 R_{p0} は純水中のコイルの抵抗、 R_p は溶液中のコイルの抵抗である。これより (3) 式は (4) 式のようにになる。

$$Q = \frac{Q_a(1 - \omega^2 C_p L)}{1 + Q_a Q_p} \quad (4)$$

また、純水中でのコイルの Q である Q_0 は R_p を R_{p0} とおけば (5) 式のように求められる。

$$Q_0 = \frac{Q_a(1 - \omega^2 C_p L)}{1 + Q_a Q_{p0}} \quad (5)$$

したがって、(4) 式と (5) 式から (6) 式を得る。

$$\frac{Q_0}{Q} = \frac{1 + Q_a Q_p}{1 + Q_a Q_{p0}} \quad (6)$$

Q_p と Q_{p0} は溶液中のコンダクタンス $G=1/R_p$ と純水中のコンダクタンス $G_0=1/R_{p0}$ を用いて $Q_p = (G/G_0)Q_{p0}$ と表わされ、これを (6) に代入し式を整理すると (7) 式を得る。

$$\frac{Q_0}{Q} - 1 = \frac{Q_a Q_{p0}(G/G_0 - 1)}{1 + Q_a Q_{p0}} \quad (7)$$

拡散現象による純水槽中の Q 値の変化は導電率の変化に関与する^{3),4),5)} ため、実際の槽中の濃度変化に対して、導電率がどのように変化するかを検討した。測定開始時には純水槽中の濃度はほぼ零と考えてよいから、拡散の初期における濃度変化はきわめて低濃度の領域である。そこで、拡散による純水槽中濃度変化に相当する $0 \sim 10^{-3}$ (N) 程度の範囲において濃度に対する導電率の変化を測定した。この結果、Fig. 4 のように低濃度領域においては、濃度に対する溶液の導電率の変化が直線的であり、その直線近似での回帰残差平方和は 0.06 ($\mu S^2/cm^2$) であり十分に近似できることを示している。そこで (8) 式のように表わすことができる。

$$G = G_0(1 + kC_x) \quad (8)$$

G_0 は純水のコンダクタンス、 C_x は拡散により変化する純水槽中の濃度、 k は定数である。(8) 式を (7) 式に代入することにより (9) 式を得る。

$$\frac{Q_0}{Q} - 1 = \frac{Q_a Q_{p0}}{1 + Q_a Q_{p0}} k C_x \quad (9)$$

一方、拡散現象による濃度の時間的変化は、拡散方程式の解として与えられるもので、補誤差関数を用いてつぎのように表わされる。

$$C_x = C^* \cdot \text{erfc}\left(\frac{z}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (10)$$

Fig. 4 Relation value between concentration and conductivity

Fig. 5 Variation of Q following time

ただし、 C^* は試料溶液自体の濃度、 z は拡散方向の距離、 D は拡散係数である。ここで示した拡散理論による式は、半無限領域中の拡散溶液の濃度と時間についての式である。実際は、測定槽中では限定された領域となるが、拡散がゆるやかでその初期における濃度変化が大きい期間では半無限領域のモデルで近似してよいことが知られている⁷⁾。

(10) 式を (9) 式に代入すると、 Q 値の変化を時間の関数として、(11) 式を得る。

$$\frac{Q_0}{Q} - 1 = m \cdot \text{erfc}\left(\frac{K}{\sqrt{t - T_s}}\right) \quad (11)$$

ただし、

$$m = \frac{Q_a Q_{p0}}{1 + Q_a Q_{p0}} k C^*$$

$$K = \frac{z}{2\sqrt{D}}$$

この式で、 T_s は初期時間である。 Q 値の時間変化を概念的に説明すると Fig. 5 のように測定の開始時刻 ($t=0$) からプリントコイルセンサが現象をとらえるまでの間、時間的遅れが認められた。この時間的遅れ T_s にも溶液固有の情報が含まれているものとして解析を行った。(11) 式に、 Q 値の時間変化の測定値をあてはめて回帰分析を行うことにより m , K , T_s という三つのパラメータを得る。 m は濃度に関するパラメータで無次元、 K は拡散係数に関するパラメータで次元は $t^{1/2}$ である。

3. 測定方法

3.1 測定槽¹⁾

測定槽および測定システムを Fig. 6 に示す。測定槽は、試料溶液槽と純水槽とからなり、そのほか、2 槽を分離している透過膜部分、情報を検出するプリントコイル部分がある。

測定槽はアクリル樹脂を加工し製作した。アクリル樹脂は槽の複雑な組合せ部を製作するのに適し、ガラスを用いる槽に比べて、比較的丈夫という特徴をもつ。また、洗浄を行うことで繰り返し測定が可能という点でガラスと同様な取扱いができる。槽は円筒形で内径は 40 (mm)

間測定することとし、測定間隔は1秒とした。

3.3 実験方法

測定は、Table 2 に示す試薬（特級試薬）を用いて調製した溶液について行った。溶媒となる純水は、 $0.2\ (\mu\text{S}/\text{cm})$ 以下の導電率が得られるイオン交換樹脂充填装置および蒸留装置を用いて調製したものである。まず、基準となる $1\ (\text{N})$ 濃度の溶液を調製し、これを希釈することにより試料溶液 $0.1, 0.2, 0.3, 0.5\ (\text{N})$ を得た。

純水槽には、試料溶液の調製に用いたものと同等の高純度純水を満たし、純水槽中の気泡は気泡除去器により除去した。

自動ビュレットを用いて、試料溶液槽に試料溶液を供給し、同時にマイクロコンピュータのデータ取り込みを開始した。自動ビュレットは、 $50\ (\text{ml})$ の試料溶液を約 $20\ (\text{s})$ で供給することができる。また、供給量の精度は $\pm 0.05\ (\text{ml})$ である。自動ビュレットからの溶液の供給には、水平8方向に向けた拡散防止型ビュレットチップを用いた。このチップを用いることにより、溶液は試料溶

Table 2 Standard sample chemicals used for measurement

Reagent	Chemical formula	Molecular weight
Sodium chloride	NaCl	58.4
Sodium nitrate	NaNO_3	84.99
Potassium chloride	KCl	74.56
Magnesium sulfate	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	246.48

Table 3 Specification of measurement equipment

Q-meter	Frequency	$22\ (\text{kHz}) \sim 70\ (\text{MHz}), \pm 1.5\ (\%)$
	Q-range	$5 \sim 1000, \pm 7\ (\%)$
	Inductance	$0.09\ (\mu\text{H}) \sim 1.2\ (\text{H}), \pm 3\ (\%)$
Digital conductivity meter		$0.1\ (\mu\text{S}/\text{cm}) \sim 1000\ (\text{mS}/\text{cm}), \pm 0.5\ (\%)$

Fig. 8. Measurement flow

液槽の壁面を伝わって槽を満たすので、試料溶液が直接セロハン膜上に落下することを防止できる。

実験に用いた Q メータ、導電率計の仕様を Table 3 に示す。自動計測の概略を Fig. 8 に示す。測定では繰返し測定を行い、統計検定により異常値を除いて10回程度の測定曲線を得た。

3.4 改良点のまとめ

つぎの6項目の事項を検討し、改良した。

①測定槽にセロハン膜を装着するときに常に一定の状態となるようにガイドを設けた。

②測定開始前に純水槽中に入っている気泡を取り除いた。

③測定装置を防振ゴムの上に設置し振動の影響を少なくした。

④試料溶液の供給を自動ビュレットにより行い、供給量の精度を向上させた。

⑤外部からの影響を考慮して、測定槽の周囲を静電シールドした。

⑥測定値の自動計測では、直流出力を有する Q メータを用いる、プリアンプのみを介してその出力をコンピュータに接続するというきわめて簡単な構成とした。

以上のような改良により、安定度が向上し、繰返し測定における測定値のばらつきが少なくなった。Fig. 9 に

(a) Before improvement

(b) After improvement

Fig. 9 Measurement curve

改良前と改良後の Q 曲線の例を示す。

供給する試料溶液が導電率をデジタル導電率計により測定したが、変動は 1% 未満であり安定している。純水槽に満たした高純度純水の導電率は $0.2 (\mu\text{S}/\text{cm})$ 以下を示した。 Q 値は時間とともに減少し、また減少の様子は、溶液の濃度により著しく異なり、濃度が高くなるほど Q 値は速やかに減少する。 Q 値の変化はどの溶液でも 600 秒以内にほぼ終了した。また、高濃度での繰返し測定の結果は低濃度の場合に比べて再現性がよい。

4. データ解析

4.1 回帰分析法

溶液の特徴を測定曲線から引き出すためのモデル式は、前報のモデル式^{1),2)}とは異なりより実際の現象に近いものといえる。前報のモデル式は、濃度変化とプリントコイルの Q 値の変化が直線的であるということから導いたものであった。ここで用いたモデル式は、第 2 章第 2 節で述べたように、濃度変化による溶液の導電率の変化が、低濃度領域で直線的な関係にあることから導いたものである。回帰による残差平方和を求めたところ前報のモデル式では 0.1 程度であったものが新しいモデル式では 0.05 程度となり回帰の精度が向上した。実際に測定中に純水槽中で変化する量は導電率であることから、より適切なモデル式であるといえる。また、低濃度領域での濃度に対する導電率の変化が直線的であることは、Fig. 4 で示した実験結果から明らかであり理解しやすい。

測定した Q 値変化曲線は、(11)式にあてはめ、回帰分析した。回帰分析には、非線形回帰分析法の一つであるシンプレックス (simplex) 法⁹⁾を用いた。シンプレックス法は、収束は遅い反面あらゆる関数に適応できるという利点をもっているので実験データの解析に適当である。各溶液の特徴を含む三つのパラメータを求め、Fig.

Fig. 10 Relation of parameters between m and K

10 に m と K の関係を示した。繰返し測定を行ったので、 m と K は試料溶液の濃度と成分によりある一定の領域をもっている。そこで、危険率 5% の 2 変量管理図¹⁰⁾を描いた。1 種類の溶液のみに着目すると、溶液の濃度増加に伴い m 値は増加する傾向にあることがわかる。また、同程度の m 値をもつ溶液でも成分により K 値が異なるという結果が得られた。しかし、分布図からも全体として、 m と K には負の相関が認められた。

4.2 主成分分析の適用

拡散曲線の回帰分析の結果得られたパラメータ m , K の分布図によると両者に負の相関があることが知れる。また、 K と T_s では両者とも拡散の速さに関するパラメータであるため両者の間にも相関が認められる¹³⁾。これは各パラメータの物理的意味からも明らかである。一般には、同定のためのパラメータは互いに無相関で独立であることが望まれる。そこでこのような値を抽出できる主成分分析法¹⁴⁾を用いることにした。

ここでは、三つのパラメータに関する座標系での値 (m , K , T_s) を正規直行行列 L で回転して新しい座標系での値 $Z(z_1, z_2, z_3)$ を求めることにした。平均が零、分散が 1 になるように基準化したパラメータ X を求めたのち、つぎの式により変換した。

$$Z = XL \quad (12)$$

このとき Z についてつぎの条件をつける。

$$V[z_k] = \lambda_k$$

$$\text{Cov}[z_k, z_{k'}] = 0 \quad (k \neq k')$$

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3 \geq 0$$

ここで V は分散、 Cov は共分散、 λ は固有値である。つまり、新しい座標系はそれらの分散が最大になるように選び、各座標は完全に無相関になるように選ぶということを意味する。

このようにして得られる主成分値 (z_1, z_2, z_3) は溶液の特徴を示すためのパラメータ群として同定に適当である。

4.3 溶液同定法

回帰分析により得られたパラメータに主成分分析を適用し主成分値を求め、パラメータと主成分との相関係数 (因子負荷量) を表わすと Fig. 11 のような結果が得られた。また、分析により得られた固有値、固有ベクトル、因子負荷量を Table 4 に示す。この固有ベクトルをもとにパラメータ m , K , T_s を主成分値に変換し、溶液ごとの分布図を描いたものが Fig. 12, 13 である。累積寄与率の項を見ると、主成分寄与率は z_1, z_2 だけで 94% になり、この二つでほとんど原データの情報を表現できることがわかる。また、 $z_1 - z_2$ の分布図を見ると各溶液に応じた領域に分離されていることがわかる。特に各群において z_1

Fig. 11 Loading factor of m , K and T_s

Table 4 Principal component analysis

		z_1	z_2	z_3
Eigenvalue		2.409	0.415	0.176
Proportion		0.803	0.138	0.059
Cumulative proportion		0.803	0.941	1.000
Eigen vector	m	-0.583	0.522	0.622
	K	0.545	0.819	-0.177
	T_s	0.603	-0.236	0.763
Factor loading	m	-0.905	0.337	0.261
	K	0.846	0.528	-0.074
	T_s	0.935	-0.152	0.320

のばらつきは少なく、 z_1 値でまず大体分類され、さらに z_2 で分離されている。なお一部に領域が重なる部分もあるが、これは z_1 - z_3 図により、完全に分離された。

4.4 考 察

分類、同定という目的では、 m , K , T_s そのままよりも主成分分析による主成分値を用いたほうがより有効であるのであるが、一方、主成分値の物理的意味は薄れる。そこで、これを明らかにするために各主成分と各変数の間の相関係数を示している因子付加量の表によってそれぞれの意味を考える。

まず、 z_1 については m の z_1 に対する相関が負である。つまり m が増すほど z_1 が減ることを意味する。 m と K または T_s は負の相関をもっており、かつ、 K と T_s は z_1 と正の相関をもっている。ゆえに m , K , T_s のいずれの変化も z_1 に対して同方向に影響し、また相関は同程度に大きいことから z_1 は総合的な拡散強さを表わすと考えられる。つまり size factor である。

つぎに、 z_2 については K に対する相関が比較的大きい。ゆえに z_2 は拡散速度の影響をおもに表わす。また、 z_3 は各係数どれも低い、いずれかといえば T_s の影響

Fig. 12 Relation of principal component value between z_1 and z_2

Fig. 13 Relation of principal component value between z_1 and z_3

を表わす因子といえる。

以上のような観点で Fig. 12, 13 を見直してみるとほぼおなじ z_1 の中で比較的 K 大なるものは z_2 大であり、 K 小なるものは z_2 小である。また、 z_1 , z_2 がいずれもほぼ同じもの(たとえば $\text{KCl } 0.2(\text{N})$ と $\text{KCl } 0.3(\text{N})$, $\text{NaNO}_3 \ 0.3(\text{N})$) のなかで T_s 大なるものは z_3 大で T_s 小なるものは z_3 小となっている。

5. 結 論

プリントコイルをセンサとした、電解質溶液同定法について研究を行った。これは、拡散現象による導電率変化を測定するものであり、変化の中に溶液固有の情報が含まれていることから判別パラメータを得るものである。

拡散現象を測定するための測定槽を試作し標準試料溶液に対する測定を試みた。試作した測定槽は、純水槽中の気泡の影響を最少にするための気泡除去器と、セロハン透過膜を容易に装着できるようにするためのガイド部に特徴がある。ガイド部により測定ごとのセロハン膜の装着の状態が均一になった。

判別パラメータとして、回帰分析によるパラメータをそのまま同定に用いる方法と、さらに主成分分析を適用し主成分値により同定を行う方法とを比較検討した。

標準試料溶液の測定および解析法の比較からつぎのことを明らかにした。

①溶液の濃度の微小変化の様子をプリントコイルセンサの Q 値の変化として測定することができる。

② Q 値時間変化の曲線を拡散理論より導いたモデル式により回帰分析することで、曲線の特徴を示す複数のパラメータを得ることができる。このパラメータは、溶液の物理的特徴を明確に示すものである。

③回帰分析による原データと主成分値との関連を調べ、本測定法における主成分分析の有効性を明らかにした。

以上のように、本論文で示した測定法により、前報よりも同定の可能性が増す結果が得られた。今後は別の解析法を試み、試料の種類をさらに増やして検討を続ける考えである。

参 考 文 献

- 1) 上迫, 川村: プリントコイルをセンサとする透過拡散溶液の濃度測定法, 計測自動制御学会論文集, 19-12, 990/996 (1983)
- 2) 上迫, 川村, 田中, 後藤: 透過拡散曲線測定装置の電解質溶液識別への応用, 計測自動制御学会論文集, 20-9, 822/828 (1984)
- 3) 藤森, 上迫, 川村: 電解質溶液濃度測定法, 第 30 回自動制御連合講演会前刷, 741/742 (1987)
- 4) 藤森, 上迫, 川村: 拡散現象を利用した電解質溶液測定, 第 31 回自動制御連合講演会前刷, 625/628 (1988)
- 5) 藤森, 上迫, 川村: 拡散現象を利用した電解質溶液の濃度成分測定法について, 電気学会計測研究会資料, IM-88-17 (1988)
- 6) 平岡, 田中: 移動現象論, 38, 朝倉書店 (1976)
- 7) 城塚, 平田, 村上: 化学技術者のための移動速度論, 87/88, オーム社 (1984)
- 8) 日本工業標準調査会編: 日本工業規格セロハン, 1/5, 日本規格協会 (1982)
- 9) 今野, 山下: 非線形計画法, 284, 日科技連 (1982)
- 10) 奥野, 久米, 芳賀, 吉澤: 多変量解析法, 159/272, 日科技連 (1971)
- 11) 芳賀, 橋本: 回帰分析と主成分分析, 162/164, 日科技連 (1980)
- 12) 門屋 卓: 機能紙, 200, 工業調査会 (1988)
- 13) 藤森, 上迫, 川村: 電解質溶液判別におけるパラメータの検討, 第 32 回自動制御連合講演会前刷, 445/446 (1989)

[著 者 紹 介]

藤 森 充 (正会員)

1989 年, 東洋大学大学院工学研究科電気工学専攻, 博士前期課程修了。同年, 雇用促進事業団・港湾職業訓練短期大学校に勤務。電解質溶液の測定法, コンピュータによるデータ解析など計測システムに関する研究に従事。1990 年度計測自動制御学会学術奨励賞受賞。

上 迫 宏 計 (正会員)

1963 年, 日本大学理工学部電気工学科卒業, 同年東洋大学工学部電気工学科に勤務, 現在同大学工学部電気電子工学科助教授。電解質溶液の測定法, 画像計測, オペアンブの雑音除去法などの研究に従事。電気学会, 日本人間工学会, IEEE などの会員 (工学博士)。

川 村 幹 也

1944 年, 東京工業大学電気工学科卒業, 都立高校教諭, 東京都技師を経て, 1961 年東洋大学工学部電気工学科助教授, 1974 年同教授, 1991 年同定年退職, 名誉教授, 現在に至る。応用電子計測専攻, 電子情報通信学会, 電気学会などの会員 (工学博士)。