弦振動計測における電磁形変換器の動的負荷効果†

原 園 正 博*・庫 本 篤**

Dynamical Loading Effect of Electromagnetic Transducer for Measuring of String Vibration

Masahiro HARAZONO* and Atsushi KURAMOTO**

In measuring characteristics of a string vibration, an electromagnetic transducer, which takes out changes of reluctance which occur because of the string vibration in the magnetic circuit, is used frequently. Turn number of the coil needs to high in order to get enough electric output, because magnetic coupling between the electromagnetic transducer and the string is very sparse. Therefore floating capacitance of the coil increases and current flows without the presence of a load. In the present paper loading effect is studied with theoretical analysis by making use of δ function for a expression of the magnetic attraction and the coupling between the transducer and the string at a particular point. The characteristic equation and the solution are obtained by making use of Laplace transform. In order to confirm the validity of the analysis results, measurements are made by laser doppler vibrometer to eliminate the influence of the equipment itself. Results show that the damping coefficients are increased by means of energy loss in the coil of the transducer. Also it is verified that the analysis results about the appearance of non-harmonic components, occurrence of beats, and increase of damping coefficients are in good agreement with experimental results.

Key Words: string vibration, electromagnetic transducer, negative stiffness, loading effect, damping coefficient

1. 緒 言

弦の振動特性の測定や弦楽器の調弦においては、機械的接触を避ける目的で、電磁形変換器がよく用いられている^{1),2)}。原理的には、直流バイアス磁束の磁気回路の一部に弦を位置させ、弦の振動によるレラクタンスの変化、ひいては磁束の変化をコイルにより起電力として取り出すものである。したがってその構成上、変換器と弦との磁氣的結合はきわめて疎であることから、十分な電氣的出力を得るためには、マグネットの磁力を強めたりコイルの巻数を多くとるなどの配慮が必要である。

ところで、変換器の負スチフネスは、その強度と作用点に応じて、弦の振動周波数を低下させ、基本音と部分音との干渉の結果唸りを発生させることが明らかにされている³⁾。また、電磁形変換器と弦が形成する磁気回路、およびこれに鎖交するコイルによる起電力の発生については、唸りの存在も含めて詳細に解析されている⁴⁾。そこで、変換器の磁力を強めると、これらの影響が強まると共に歪成分も増大することが予想される⁵⁾。また、コイルの巻数の増加は、そのままインピーダンスの増加をきたし、ノイズ発生の原因となることも十分考えられる。さらに、コイル間の浮遊容量が増大し、これが負荷的に作用するための影響が発生することが予想される。

本論文では、弦の振動の測定に電磁形変換器を用いた場合に負スチフネスの与える影響に加え、上記の浮遊容量を通して発生する負荷効果について理論的、実験的に検討を行っている。すなわち、弦の振動は負スチフネスの影響を受けて非調和性を有し、唸りを伴いながら起電力を発生するが、変換器に負荷を接続しない場合でも浮

† 計測自動制御学会九州支部学術講演会で発表(1993・11)

* 高松工業高等専門学校 高松市勅使町 355

** 大阪職業能力開発短期大学校 岸和田市稲葉町 1778

* Takamatsu National College of Technology,
Takamatsu

** Osaka Polytechnic College, Kishiwada
(Received March 28, 1994)

(Revised February 20, 1995)

遊容量を通してコイルには電流が流れる。結果として、電磁形変換器の回路内部の抵抗成分によるエネルギー損失のため、弦の減衰を早めていることが確認される。また、きわめて微少ではあるものの、電気系の存在により振動周波数にも若干変化が現れることが数値計算上で確認できる。なお、このような検討結果を検証するためには、変換器自身の影響のない計測法が必要であるが、ここではレーザ・ドップラ振動計を用いた測定結果との比較を行っている。

2. 理論的考察

2.1 測定系と基本方程式

Fig. 1 に対象とする測定系の概略図を示している。弦の線密度を σ 、単位長における摩擦係数を r_m 、張力を T とおくものとする。弦長 l に対し $x=a$ の点に電磁形変換器が設置されるものとし、直流バイアス磁束による吸引力は、静的成分 F_0 と $x=a$ における変位に比例する負スチフネス成分 $s_n y(a, t)$ とに近似できるものとする³⁾。つぎに、Photo. 1 にここで使用した電磁形変換器を示している。これは電気ギターに用いられるピックアップであるが、6本の弦に対応してポールピースを配置し、この全体をコイルで巻いたものである。Fig. 2 に、コイルの入力端子より測定したインピーダンス特性を示している。この結果から、電磁形変換器のコイルのインピーダンスとして、インダクタンス L と直流抵抗 R に加え、浮遊容量 C を Fig. 3 の等価回路のように考慮するものとした。

Fig. 1 Diagram of string vibration measuring system

Photo. 1 Electromagnetic transducer used for experiment

そこで、浮遊容量を通してコイルに流れる電流を $i(t)$ とする。このとき機械系に発生する起振力と弦の振動により発生する起電力の比例係数は可逆性により等しいことから、これを A とおくと、機械系および電気系における基本方程式はつぎのように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} + r_m \frac{\partial y(x, t)}{\partial t} &= T \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} \\ -\delta(x-a) \{F_0 - s_n y(a, t) - A i(t)\} \\ L \frac{di(t)}{dt} + R i(t) + \frac{1}{C} \int i(t) dt + A \frac{dy(a, t)}{dt} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

なお、ここでは弦自身の有する剛性に関する項は考慮しないものとしている。

つぎに、弦の $l/8$ のポイントに初期変位 h を与えるものとし、便宜上 $g(x) = y(x, 0)$ として各条件をつぎのように設定する。

$$\left. \begin{aligned} g(x) &= \begin{cases} 8hx/l & (0 \leq x < l/8) \\ 8h(l-x)/7l & (l/8 \leq x \leq l) \end{cases} \\ y(0, t) = y(l, t) &= 0 \\ y_{xx}(0, t) = y_{xx}(l, t) &= 0 \\ i(0) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

2.2 特性方程式

時間 t に関するラプラス変換を $\Omega\{y(x, t)\} = Y(x, p)$ 、 $\Omega\{i(t)\} = I(p)$ として(1)式に適用し、(2)式の条件を加味するとつぎの結果が得られる。

Fig. 2 Impedance characteristic of electromagnetic transducer

Fig. 3 Equivalent circuit of the electromagnetic transducer

$$\left. \begin{aligned} Y_{xx}(x, p) &= \frac{p(p+r_1)}{c^2} Y(x, p) - \frac{p+r_1}{c^2} g(x) \\ &+ \frac{\delta(x-a)}{c^2} \left\{ \frac{k_1}{p} - k_2 Y(a, p) - A_1 I(p) \right\} \\ \left(p+r_2 + \frac{v^2}{p} \right) I(p) &+ p A_2 Y(a, p) - A_2 g(a) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ただし、便宜上 $c^2 = T/\sigma$, $k_1 = F_0/\sigma$, $k_2 = s_n/\sigma$, $A_1 = A/\sigma$, $A_2 = A/L$, $r_1 = r_m/\sigma$, $r_2 = R/L$, $v^2 = 1/LC$ とおいている。

つぎに、位置変数 x に関するラプラス変換を $\mathcal{L}\{Y(x, p)\} = Y(a, p)$, $\mathcal{L}\{g(x)\} = G(a)$ とおき、条件を加味すると第一式についてつぎの結果が得られる。

$$\left\{ a^2 - \left(\frac{q}{c} \right)^2 \right\} Y(a, p) = Y_x(0, p) - \frac{q^2}{p c^2} G(a) + \left\{ \frac{k_1}{p} - k_2 Y(a, p) - A_1 I(p) \right\} \frac{e^{-a a}}{c^2} \quad (4)$$

ただし、 $q^2 = p(p+r_1)$ とおいた。(3)式の第二式より $I(p)$ を求め、(4)式に代入するとつぎの像方程式が得られる。

$$\begin{aligned} Y(a, p) &= \frac{1}{p c^2 \left\{ a^2 - \left(\frac{q}{c} \right)^2 \right\}} \left[p c^2 Y_x(0, p) - q^2 G(a) \right. \\ &+ \left\{ k_1 - p k_2 Y(a, p) - \frac{p^2 A_1 A_2 g(a)}{z(p)} \right. \\ &\left. \left. + \frac{p^3 A_1 A_2 Y(a, p)}{z(p)} \right\} e^{-a a} \right] \quad (5) \end{aligned}$$

ここで、便宜上 $z(p) = p^2 + r_2 p + v^2$ とおいた。逆変換するとつぎの結果が得られる。

$$\begin{aligned} Y(x, p) &= Y_x(0, p) \frac{c}{q} \sinh \frac{q}{c} x \\ &- \frac{q}{c p} \int_0^x g(\xi) \sinh \frac{q}{c} (x-\xi) d\xi \\ &+ \frac{1}{q c} \left\{ \frac{k_1}{p} - k_2 Y(a, p) + \frac{p^2 A_1 A_2}{z(p)} Y(a, p) \right. \\ &\left. - \frac{p A_1 A_2}{z(p)} g(a) \right\} \sinh \frac{q}{c} (x-a) \quad (6) \end{aligned}$$

ただし最終項は $a \leq x \leq l$ のみで加味される。そこで、 $a \leq x \leq l$ において $x=l$ とき $Y_x(0, p)$ を求める。さらに、 $x=a$ とき $Y(a, p)$ を求めこれを代入すると、最終的につぎのような像方程式を得ることができる。

$Y(x, p) =$

$$\left\{ \begin{aligned} &\frac{q^2 z(p)}{p H(p)} \left\{ \sinh \frac{q}{c} (l-x) \int_0^x g(\xi) \sinh \frac{q}{c} \xi d\xi \right. \\ &+ \sinh \frac{q}{c} x \int_x^l g(\xi) \sinh \frac{q}{c} (l-\xi) d\xi \left. \right\} \\ &- \frac{q \{ k_2 z(p) - p^2 A_1 A_2 \}}{c p H(p)} \sinh \frac{q}{c} (l-a) \\ &\cdot \left\{ \sinh \frac{q}{c} (a-x) \int_0^x g(\xi) \sinh \frac{q}{c} \xi d\xi \right. \end{aligned} \right.$$

$$\left. \begin{aligned} &+ \sinh \frac{q}{c} x \int_x^a g(\xi) \sinh \frac{q}{c} (a-\xi) d\xi \left. \right\} \\ &- \frac{\{ k_1 z(p) - p^2 A_1 A_2 g(a) \}}{p H(p)} \sinh \frac{q}{c} (l-a) \sinh \frac{q}{c} x \\ &\frac{q^2 z(p)}{p H(p)} \left\{ \sinh \frac{q}{c} (l-x) \int_0^x g(\xi) \sinh \frac{q}{c} \xi d\xi \right. \\ &+ \sinh \frac{q}{c} x \int_x^l g(\xi) \sinh \frac{q}{c} (l-\xi) d\xi \left. \right\} \\ &- \frac{q \{ k_2 z(p) - p^2 A_1 A_2 \}}{c p H(p)} \sinh \frac{q}{c} a \\ &\cdot \left\{ \sinh \frac{q}{c} (l-x) \int_0^x g(\xi) \sinh \frac{q}{c} (\xi-a) d\xi \right. \\ &+ \sinh \frac{q}{c} (x-a) \int_x^l g(\xi) \sinh \frac{q}{c} (l-\xi) d\xi \left. \right\} \\ &- \frac{\{ k_1 z(p) - p^2 A_1 A_2 g(a) \}}{p H(p)} \sinh \frac{q}{c} a \sinh \frac{q}{c} (l-x) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

ここで

$$\begin{aligned} H(p) &= c q z(p) \sinh \frac{q}{c} l \\ &- \{ k_2 z(p) - p^2 A_1 A_2 \} \sinh \frac{q}{c} a \sinh \frac{q}{c} (l-a) \end{aligned} \quad (8)$$

であり、 $H(p)=0$ が特性方程式となる。また、最終項においてのみ $p=0$ もポールとなることが知れる。

ところで、特性方程式の根を求めてみると $p_n = -\gamma_n \pm j\beta_n$ のような複素数として与えられることがわかる。もちろんこのとき、実数部の γ_n は減衰係数を、虚数部の β_n は角振動周波数を与える。

3. 考 察

3.1 負スチフネスの影響と喰り

Fig. 4 にレーザードップラ振動計により $x=a=l/2$ として測定した振動速度の減衰特性を、電磁形変換器が存在しない場合と存在する場合を比較して示している。ここで、興味深い事実として、電磁形変換器を設置していない場合において、きわめて低い周波数ではあるものの、弦振動に喰りが発生していることが確認できる。これは弦の振動周波数に非調和性が発生していることを示すものであり、剛性の影響であると考えられる⁹⁾。これに対し電磁形変換器が存在すると、負スチフネスの影響により非調和性が発生し、比較的振幅の大きい部分音同志の干渉が現れ、ここでは約 3.6 Hz の喰りが明確に出現していることがわかる。

Table 1 に電磁形変換器が存在する場合、しない場合についての振動周波数の測定結果および(8)式の特性方程式より求められる計算結果を示している。ただし、 $x=$

(a) Original

(b) Affected by electromagnetic transducer

Fig. 4 String vibration decay curve measured by laser doppler vibrometer

$a=l/2$ としていることから、偶数次部分音は存在せず、ここで述べるような影響も受けないことは特性方程式よりも明らかであることから、奇数次の測定可能な周波数についてのみ言及している。ここで用いた諸元はつぎのとおりである。

弦長	: $l=0.64$	[m]
線密度	: $\sigma=1.276 \times 10^{-3}$	[kg/m]
張力	: $T=79.7641$	[N]
電気抵抗	: $R=6.02$	[k Ω]
インダクタンス	: $L=1.0564$	[H]
浮遊容量	: $C=556$	[μ F]

尚、負スチフネスおよび比例係数 A は試算に基づいて定めたが、結果として $S_n=7.94249$ [N/m], $A=0.23525$ とおいた。用いた弦は本来 G_3 音、したがって 195.99772 Hz に設定される弦であるが、ここでは負スチフネス、あるいは負荷効果による影響に注目するものとし、厳密な調整は行なわなかったものであり、その結果基本周波数は 195.8499 Hz であったものである。減衰係数は、低次部分音の実測結果によるとほぼ周波数の自乗に比例していると考えられる⁹⁾。ここでは、1, 3, 5 次部分音については実測値を用い、ほかの部分音については時間経過後の減衰状況を考慮し、便宜上つぎのように設定した。

$$\gamma_n = 0.20056 + 1.0855 \times 10^{-8} \omega_n^2 \quad (9)$$

以上のような結果からも明らかなように、唸りは主に基本音と第 3 次部分音との干渉として現れるが、その周

Table 1 Measured and calculated vibration frequencies of string

Patial No.	Original		Affected	
	Measured	Calculated	Measured	Calculated
1st	195.8499	195.8499	194.5842	194.5842
3rd	587.864	587.5497	587.4376	587.1309
5th	980.593	979.2495	980.116	978.9987

(a) Original

(b) Affected by electromagnetic transducer

Fig. 5 The 3rd partial decay curve of string vibration

波数は f_3-3f_1 Hz と考えることができ、測定値よりそれぞれ 0.3143, 3.685 Hz であることが確認される。尚、理論的解析においては剛性を考慮していないことから、電磁形変換器を設置していない場合の振動周波数は整数倍性を満たすことになる。さらに、負スチフネスおよび負荷効果の影響を受けた場合の振動周波数を見るとき、 f_3-3f_1 の値は 3.3783 Hz となっており、剛性を加味していない分小さい値として現れていることが確認できる。

3.2 負荷効果の影響

Fig. 5 は、レーザードップラ振動計による弦の速度応答から、バンドパスフィルタを通して得られた第 3 次部分音の減衰特性を示している。図は、電磁形変換器が存在しない場合と存在する場合を比較したものであるが、後者のほうがいくらか減衰が早いことを観察することができる。Table 2 は、同様の実験データから読みとった第 5 次までの減衰係数、および特性方程式より求められる値を比較して示したものである。ただし、電磁形変換器が存在しない場合の機械抵抗は実測値を基に与えている。

結果を見ると、いずれの部分音においても、電磁形変換器の存在により減衰係数が大きくなっていることが確

Table 2 Measured and calculated damping coefficients of string

Partial No.	Original		Affected	
	Measured	Calculated	Measured	Calculated
1st	0.217	0.217	0.2278	0.2278
3rd	0.3458	0.3458	0.3652	0.3594
5th	0.4441	0.4441	0.4598	0.4493

認められると共に、実測値とも良く一致していることが伺える。尚、数値計算において、力係数を零と置くことにより減衰係数の変化は全く生じないことを確認することができる。したがってこの現象は、機械振動系と電気系とが磁気的に結合し、弦の振動により発生した起電力により浮遊容量を通して電流が流れ、コイル内部の抵抗によりエネルギー損失が生じたものと解釈することができる。さらに、数値計算上の同一の過程を周波数について観察してみると、電気系の介在により振動周波数が低下することが確認できるが、少数点以下4桁のオーダーであり、周波数の変化はそのほとんどが負スチフネスによるものと判断することができる。

3.3 振動波形の例

ここまでの議論のように、減衰係数の変化の負スチフネス、および剛性への依存性は少ないことから、(8)式に示した特性方程式を基にその挙動のほとんどを伺い知ることができる。そこで、ここまでの理論的解析、およびレーザードップラ振動計による測定結果の妥当性を検証する意味において、理論的振動解の一例を示すものとする。

すなわち、先に示した初期条件を加味し、(7)式の像方程式を逆変換することにより振動解を求めることができる。ここでは便宜上、初期変位を与える位置 $l/8$ に対し、変換器を設置する位置 a および観測点 x もこれより大きいものとする。そこで、上記の特性方程式より求められる特性根を $p_n = -\gamma_n \pm j\beta_n$ と置くものとする、 $a \leq x \leq l$ についてつぎのような結果を得ることができる。

$$\begin{aligned}
 y(x, t) = & \frac{8hc}{7l} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(p_n + r)z(p_n)}{q_n H_p(p_n)} e^{p_n t} \\
 & \cdot \left\{ (l-x) \sinh \frac{q_n l}{c} - \frac{8c}{q_n} \sinh \frac{q_n l}{8c} \right. \\
 & \cdot \sinh \frac{q_n}{c} (l-x) \Big\} \\
 & - \frac{8h}{7l} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\{k_2 z(p_n) - p_n^2 A_1 A_2\}}{p_n H_p(p_n)} e^{p_n t} \\
 & \cdot \sinh \frac{q_n}{c} a \cdot \left\{ (l-x) \sinh \frac{q_n}{c} (l-a) \right. \\
 & \left. - (l-a) \sinh \frac{q_n}{c} (l-x) \right\}
 \end{aligned}$$

Fig. 6 Calculated velocity of string vibration affected by negative stiffness and loading effect

$$\begin{aligned}
 & - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\{k_1 z(p_n) - p_n^2 A_1 A_2 g(a)\}}{p_n H_p(p_n)} e^{p_n t} \\
 & \cdot \sinh \frac{q_n}{c} a \sinh \frac{q_n}{c} (l-x) \\
 & - \frac{k_1 a (l-x)}{lc - k_2 a (l-a)} \quad (a \leq x \leq l) \quad (10)
 \end{aligned}$$

これらの各係数を p_n の共役複素数について計算してみるとそれぞれ共役の関係にあることが確認できる。そこで、速度応答は、つぎのように得ることができる。

$$\begin{aligned}
 v(x, t) = & \frac{16hc}{7l} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{q_n z(p_n)}{H_p(p_n)} \left\{ (l-x) \sinh \frac{q_n}{c} l \right. \right. \\
 & \left. \left. - \frac{8c}{q_n} \sinh \frac{q_n l}{8c} \sinh \frac{q_n}{c} (l-x) \right\} \right] \\
 & \cdot e^{-\gamma_n t} \cos(\beta_n t + \phi_n) \\
 & - \frac{16hc}{7l} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{\{k_2 z(p_n) - p_n^2 A_1 A_2\}}{H_p(p_n)} \sinh \frac{q_n}{c} a \right. \\
 & \cdot \left\{ (l-x) \sinh \frac{q_n}{c} (l-a) \right. \\
 & \left. \left. - (l-a) \sinh \frac{q_n}{c} (l-x) \right\} \right] \\
 & \cdot e^{-\gamma_n t} \cos(\beta_n t + \phi_n) \\
 & - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\{k_1 z(p_n) - p_n^2 A_1 A_2 g(a)\}}{H_p(p_n)} \\
 & \cdot \sinh \frac{q_n}{c} a \cdot \sinh \frac{q_n}{c} (l-a) \\
 & \cdot e^{-\gamma_n t} \cos(\beta_n t + \theta_n) \quad (11)
 \end{aligned}$$

ここで ϕ_n, θ_n は、各係数により求められる位相を表わす。Fig. 6 にこれらの計算結果として、 $x = a = l/2$ の場合の振動直後と5秒経過後の0.04秒間の波形を示している。Fig. 7 にはこれと対応させて、レーザードップラ振動計による計測結果を示している。ただし、ここでは弦の剛性を加味していないことから、Fig. 4の説明で述べたように、本来剛性により発生する非調和性を負スチ

Fig. 7 Measured velocity of string vibration affected by negative stiffness and loading effect

フネスに代替えさせるものとし、試算に基づき $s_n = 8.43893$ [N/m] と置いている。さらに、各部分音の振幅は理論的な値より小さいことが実験的に伺えることから、本来の理論値に対し次数 n 分の 1 として与えており、50 次までを計算の対象とした。なお、上記の仮定により実際には、10 次程度までの計算でも解はほとんど変わらないことが確認できる。

結果を見ると、実測値では、初期変位を与えるのに鉄片のフックをリリースにより開放するようにしているため、瞬間の鉄片による擦弦の影響として、振動初期において高調波成分の微小振動が重畳している。Fig. 8 は計算を 8 秒まで繰り返し、その包絡線を描いたものであり、Fig. 4 の測定結果に対応させたものである。これらの結果を観察するとき、負スチフネスの影響に加え負荷効果の作用する弦の振動の詳細について、理論的な検討が十分に可能であることを確認することができる。

4. 結 言

弦の振動特性の測定を行う場合に、電磁形変換器のコイルに存在する浮遊容量のきたす負荷効果について検討を行った。電磁形変換器は、負スチフネスの存在により、弦振動の振動周波数を低下させ、結果として唸りを発生させることはすでに解析されているが、これらの現象に加えて、電磁形変換器に負荷を接続しない場合でも、浮遊容量を通して負荷効果が発生し、弦振動の減衰を速めることが明らかとなった。また、負荷効果として振動周波数に与える影響は変換器の負スチフネスの与える影響に比較しきわめて微小である。このような検討を行うに

Fig. 8 Calculated string vibration decay curve affected by electromagnetic transducer

は絶対的な精度の測定が必要であるが、ここでは理論計算による検討と、レーザードップラ振動計による測定結果との比較検討を通してその妥当性を検証した。

参 考 文 献

- 1) A.C. van der Woerd: New Electronic Device for Pianos, J. Acoust. Soc. Am. **51**, 2010/2017 (1972)
- 2) 鈴木貞夫: CRT を用いるピアノの調律法の改良, 日本音響学会誌, **41**, 137/143 (1985)
- 3) 原園, 富岡, 中村, 富田: 集中負スチフネスの影響を受けた弦の振動, 日本音響学会誌, **36-12**, 615/62 (1980)
- 4) M. Harazono: Electromagnetic Pickup Response Excited by a String Vibration, J. Acoust. Soc. Jpn. (E) **10-1**, 23/29 (1989)
- 5) 原園 正博: 電磁形変換器の弦振動応答の部分音に見られる唸, 日本音響学会誌, **45-2**, 101/106 (1989)
- 6) H. Fletcher: Normal Vibration Frequencies of a Stiff Piano String, J. Acoust. Soc. Am. **36**, 203/209 (1964)

[著 者 紹 介]

原 園 正 博 (正会員)

1978 年, 法政大学大学院工学研究科修士課程修了。住友重機械工業(株)平塚研究所研究員, 川内職業能力開発短期大学校講師, 鹿児島大学非常勤講師などを経て 95 年より高松工業高等専門学校助教授。応用情報処理, 音響工学関連の研究に従事。日本音響学会の会員(工学博士)。

庫 本 篤 (正会員)

1980 年, 法政大学大学院工学研究科修士課程修了。同年パブコック日立(株)入社。87 年北九州職業能力開発短期大学校講師, 95 年大阪職業能力開発短期大学校講師, 現在に至る。応用情報処理, 音響工学に関する研究に従事。日本音響学会の会員。