

## TEMPEST: 音楽的表現が可能な文字入力システム

竹川佳成<sup>†a)</sup> 寺田努<sup>†b)</sup> 塚本昌彦<sup>††c)</sup> 西尾章治郎<sup>†d)</sup>

TEMPEST: A Text Input System with Musical Expression

Yoshinari TAKEGAWA<sup>†a)</sup>, Tsutomu TERADA<sup>†b)</sup>, Masahiko TSUKAMOTO<sup>††c)</sup>, and Shojiro NISHIO<sup>†d)</sup>

あらまし: 近年, 計算機の普及に伴い, 電子メール, ブログ, チャットなどテキストベースのコミュニケーションが活発に行われている. また, 感情や込めたい思いをより良く表現し他者に伝えるために, 写真, ムービー, 効果音, 音楽, 香りなどさまざまなコミュニケーションメディアやインタフェース, システムが提案されてきた. 一方, ピアニストは鍵盤楽器を使って感情や思いを巧みに表現している. したがって, 文字入力に演奏者の音楽的な表現力を付加できれば, 感情や思いをより豊かに表現・伝達できると考えられる. そこで本研究では, 鍵盤を使って文字入力に音楽表現を付加できる文字入力システム TEMPEST (TEExt input and Musical PEperforming SysTem) を提案する. TEMPEST の文字入力方式は, 楽器演奏による感情伝達を考慮した設計になっており, ユーザはあたかも演奏しているかのように文字入力できる. さらに, 実装したプロトタイプを用いた, 文字入力演奏の視聴評価実験の結果から, 提案システムは感情伝達手段として有効であることが証明された.  
キーワード: 文字入力, 鍵盤楽器, 感情表現, 音楽表現

**Abstract:** Recently, due to the widespread use of computers, text-based communication methods, such as e-mail, blog, and chat, have attracted a great deal of attention. Moreover, various communication media, such as picture and movie, are used for expressing own emotion. If pianists can apply their musical expressions to the text input, they can input texts with their own emotion richly. Therefore, the goal of our study is to construct TEMPEST (TEExt input and Musical PEperforming SysTem) that is a text input system to input texts with various musical expressions by using a MIDI keyboard. Since this system provides text input methods considering musical artistry, a performer can input texts like playing music. As the result of a questionnaire evaluation, it proves that proposed methods have high effectiveness for expressing emotion in inputting texts.

**Keywords:** Text Input, Keyboard Instrument, Emotion Expression, Musical Expression

### 1. はじめに

近年, 計算機の普及およびネットワーク環境の整備に伴い, 電子メール, ブログ, チャットなどテキストベースのコミュニケーションが活発に行われている. また, 感情や思いをより良く表現し他者に伝えるために, 写真, ムービー, 効果音, 音楽, 香りなどのコミュニケーションメディアやインタフェース, システムが研究開発されてきた [6], [11], [19], [20], [23], [24].

一方, 演奏者の感情や思いを的確に表現し, 効果的に他者へ伝達できるインタフェースの 1 つに楽器がある. 楽器はある特定の音色の音をいくつかの周波数について出すことしかできないが, この単純さのゆえ

に使い方の自由度は非常に高く, 表現の幅は広い. そのため, 演奏者はより深く豊かな表現の実現を目指し日々鍛錬している. したがって, 文字入力に楽器演奏者の音楽的な表現力を付加できれば, 感情や思いをより豊かに表現・伝達できると考えられる.

そこで本研究では, 鍵盤奏者を対象とし, 文字入力に音楽表現を付加できる文字入力システム TEMPEST (TEExt input and Musical PEperforming SysTem) を提案する. TEMPEST は, インタフェースとして鍵盤楽器を採用し, 音楽表現に注力した文字入力方式を提案することで鍵盤奏者がこれまでに習得した音楽表現技術を転用できるため, 文字と演奏による豊かな感情表現および効果的な感情伝達を実現している.

以下, 2 章で TEMPEST の設計について説明し, 3 章で実装について述べ, 4 章で TEMPEST の評価について説明する. 最後に 5 章で本研究のまとめを行う.

### 2. TEMPEST の設計

TEMPEST では文字入力のスピードや正確性を重視する一般の文字入力インタフェースとは異なり, いかに思いや感情を演奏として表現できるかという点が

<sup>†</sup> 大阪大学大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

<sup>††</sup> 神戸大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Kobe University

a) E-mail: takegawa@ist.osaka-u.ac.jp

b) E-mail: tsutomu@ist.osaka-u.ac.jp

c) E-mail: tuka@kobe-u.ac.jp

d) E-mail: nishio@ist.osaka-u.ac.jp

重要になる．そのためにはユーザが任意の文字を好きなタイミングで入力でき，そのときの出力音を自由にコントロールできることが望ましい．しかし，携帯電話やポケットベルのような文字入力方式では入力文字に対して使用するキーが決まっているため，文字に対する出力音が固定され，ユーザの意図しない音楽が生成される．この問題を解決する方法として次の2つが考えられる．

#### 文字入力鍵の打鍵音の変更

これは，文字入力鍵（打鍵時に文字と楽音を生成する鍵）の打鍵音（鍵の打鍵により出力される音）を変更する方式である．例えば，演奏鍵（文字入力に用いない鍵）の演奏と協和する音を文字入力鍵の打鍵音に割り当てる方法が考えられる．このようにすることで，ユーザは演奏鍵の演奏を通して間接的に文字入力音をコントロールできる．ただし，鍵とその出力音の関係がくずれるため演奏に違和感が生じる．

#### 中継音の挿入

これは，聴きづらい音列にならないように手で文字入力と文字入力の間に音楽的にうまくつながるように中継音を挿入する方式である．本方式では，文字入力音間，連結音間，文字入力音と連結音間における音の連結のしやすさを意識し，入力文字に割り当てる音のマッピングや中継音を文字入力方式設計時に考慮する必要がある．

本方式は，鍵とその出力音の関係を崩すことなく音楽的な文字入力を実現できるが，次の文字入力音と中継音の中から望む音楽表現を満たす最適な音を選択するなどユーザが一度に考えなければならない負荷が増えてしまう．また，中継音を挿入するため，いつでも好きなときに文字を入力できない．

これらの方法はそれぞれ利点・欠点があり，どちらが最適か決めるのは困難であるため，本研究では両方式を選択的に利用できる文字入力システムを設計し，感情伝達手段として有効であるか検証する．以下，TEMPEST の設計方針について説明する．

#### 2.1 設計方針

##### 文字入力のための入力要素

演奏中にリアルタイムに抽出でき，入力文字を決定するための文字入力情報は，ノートナンバー，ペロシティ，弾いている手（右手か左手か），運指，鍵上の打鍵位置などがある．また，時系列も考慮すると音長，音長の組合せであるリズム，和音の打鍵タイミングなども取得できる．

本システムでは，最も安定した情報を取得できるノートナンバーを文字入力情報として利用する．ペロシティやリズム，音長といった要素は，個人差があるためあらかじめキャリブレーションが必要であったり，その日の体調などに左右されるため，細かい制御が難しい．また，運指や弾いている手は，認識に特殊なハードウェアを必要とし，正確な検出が困難である．

##### ハードウェア

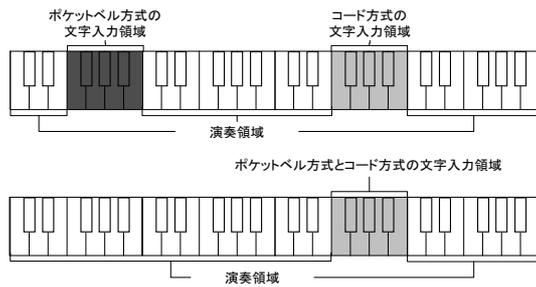


図1 文字入力領域と演奏領域の配置

TEMPEST はあらゆる状況で広く利用することを想定し，2 オクターブ以上の音域をもつ MIDI キーボードなら TEMPEST の全機能を利用できるように設計する．また，TEMPEST が利用する情報は MIDI キーボードが生成する MIDI ノートオンおよびオフ情報のみで，特別なデバイスは不要である．

#### 文字入力方式の検討

TEMPEST が入力できる文字は，かな文字，英数字および Shift, Ctrl, Alt など特殊文字である．

これまで提案されてきたキー入力インタフェースでは，一般の PC 用キーボードのように1つのキーに1つの文字が割り当てられる方式（QWERTY 方式），同じキーを複数回押すことで入力文字を選択する方式（携帯電話方式），子音と母音など複数キーの組み合わせで入力する方式（ポケットベル方式），複数キーを同時に入力する方式（コード方式）が利用されている．QWERTY 方式はもっともシンプルな文字入力方式であるが，鍵盤数が少ないキーボードには適さない．また，携帯電話方式は同じキーの連続入力が多く，演奏として成り立ちにくい．したがって，本研究ではポケットベル方式とコード方式を用いた文字入力方式を提案する．

#### 文字入力領域の配置

TEMPEST が必要な文字入力パターン数は，文字セットの数がもっとも多いかな文字の46パターンに「モード切替」，「変換」を加えた48パターンである．したがって，必要な鍵数は，ポケットベル方式では，子音と母音の2ストロークで入力する場合，最低7鍵（ $7 \times 7 = 49$ パターン），コード方式では，2和音，3和音の入力を考えた場合，最低7鍵（ ${}_{7}C_3 + {}_{7}C_2 = 56$ パターン）あればよい．

想定する鍵盤では演奏鍵と文字入力鍵が混在する．ここで，文字入力鍵が集まっている領域を文字入力領域，演奏鍵が集まっている領域を演奏領域と呼び，これらの領域の配置は図1に示すように文字入力領域の複数配置（図1の上段），異なる文字入力方式の文字入力領域の重畳（図1の下段）など配置はユーザが任意に設定できる．

このように，TEMPEST では鍵盤上に多様な文字入力方式の文字入力領域を同時に割り当てることができ，1つの文字に対しさまざまな奏法を用いることが



図 2 伴奏の奏法

できるなど表現の幅が広い。なお、複数の文字入力方式を重畳させる場合、1つの操作で複数の方式が同時に反応してしまうが、同時に反応しない排他的な文字入力方式を重畳させることでこの問題を解決できる。本研究で提案する文字入力方式も特定の方式を組み合わせることで重畳させることが可能である。

### 2.2 提案文字入力方法

本研究では、2回の入力で1文字を指定する単音方式、1回の和音(協和音、不協和音)入力で1文字を指定する和音方式、協和音のみの和音入力で1文字を指定する伴奏方式を提案する。

以下、それぞれについて詳細に説明する。

#### 単音方式

単音方式では、既存のポケットベルと同様、1入力目で子音を入力し、2入力目で母音を入力することで文字を決定する。表1(a)に単音方式の文字コード割当てを示す。単音方式に必要な鍵数は、C鍵からA鍵の10鍵である。例えば、「く」を入力したければ、始めにC#を打鍵し、次いでD鍵を打鍵すればよい。

デフォルト入力モードはかな文字で、MS(Mode Shift: モード切替)を入力すれば現在の入力モードから「かな文字、英数字、特殊文字」の順にトグル式に切り替わる。また、IC(Input Conversion: 入力変換)を入力すれば、最後に入力された文字がかな文字であれば「清音、濁音、半濁音、促音あるいは拗音」の順に、英字では「小文字、大文字」の順にトグル式に変換される。なお、濁音、半濁音など変換時に文字が存在しない場合、存在する音へ変換される。なお、これらモード切替および入力変換の処理は、和音方式や伴奏方式においても同様である。

#### 和音方式

1つのキーを連続して入力する単音方式に対し、和音方式では、複数のキーを同時に打鍵することで文字を入力する。表1(b)に和音方式の文字コード割当てを示す。和音方式に必要な鍵数は、C鍵からA#鍵の11鍵である。和音方式は、かな文字入力の入力を容易にするために、黒鍵領域に母音を白鍵領域に子音をマッピングした。例えば、「く」を入力したければ、C、D、F#鍵を同時に打鍵する。

また、和音方式は単音方式と独立になるように設計したため、図1の下段に示すように単音方式と和音方式を同じ鍵上に重畳しても、複数の文字が一度に入力されることはない。

#### 伴奏方式

表1(c)に伴奏方式のかな文字における文字コード割



図 3 伴奏形と母音との関係

当てを示す。紙面の都合上、英数字、特殊文字の文字コード割当ては省略した。伴奏方式は、図2に示すように分散和音とアルペジオの2つの奏法を使い分けて入力する。表中で下線が引かれている階名はアルペジオで演奏する。また、表中でダブルクォーテーションマーク付音名はダブルクォーテーションマークが付いていない音名より高い音高であることを示す。したがって、伴奏方式に必要な鍵数はC鍵からE<sup>b</sup>鍵の17鍵である。また、文字入力による調性の乱れを防ぐために、文字入力鍵は白鍵を用いた。さらに、図3に示すように母音に対して伴奏形を統一することで文字入力の習得を容易にしている。加えて、文字が入力されないコードや図3の左端に示す中継用の伴奏形を用いることで音楽的なコード進行を実現できる。

#### 提案文字指定方式の比較

単音方式は、表情付けを巧みに行うことでメロディパートとして活用できる。また、2和音、3和音を演奏する和音方式と組み合わせることで文字入力中でもさまざまな表現が可能となる。しかし、前節で述べたように文字に対して使用する鍵が決まっているため、ユーザの意図しない音楽が生成されてしまう。

伴奏方式は、コードに文字をマッピングすることで、文字入力による不協和音の生成を防いでいる。しかし、連続して文字入力を行う場合、コード進行が乱れてしまうため文字が入力されないコードや伴奏形を挿入しコード進行を考慮しながら文字入力する必要がある。

#### 2.3 ノートナンバー変更アルゴリズム

本研究では上記の単音方式や和音方式における聴きづらさを解決するために、文字入力鍵に割り当てられているノートナンバーを演奏領域で弾いているノートナンバーに応じて変化させる方式を提案する。具体的には、演奏領域で弾いている音と不協和音にならない音集合を導出し、文字入力領域にそれらの音を敷き詰めることで、ユーザが間接的に文字入力音をコントロールできるようにする。

なお、下記アルゴリズムは文字入力領域単位に適用される。

#### 階名の割当て

##### (1) ランダム方式

文字入力領域のある鍵が打鍵された場合、演奏領域で弾いている鍵の階名をランダムに選択し割り当てる。例えば、図4に示す状況で、演奏領域のC3、E3、G3の鍵が弾かれている場合、システムはランダムにC、E、Gから打鍵された文字入力鍵の階名を選ぶ。

##### (2) ダイレクト方式

演奏領域で弾いている鍵の低い音高の階名から順に文

表 1 提案文字入力方式

(a) 単音方式						(b) 和音方式						(c) 伴奏方式							
<b>かな文字</b>						<b>かな文字</b>						<b>かな文字</b>							
第1音	第2音	C	C#	D	D#	E	F	かな文字	C#	D#	F#	G#	A#	かな文字	C#	D#	F#	G#	A#
C	あ	い	う	え	お	Enter		C	あ	い	う	え	お	あ	い	う	え	お	
C#	か	き	く	け	こ	Space		C, D	か	き	く	け	こ	C, G, E	C, F, A	C, A, F	D, F, G	D, G, F	
D	さ	し	す	せ	そ	Back		D	さ	し	す	せ	そ	か	き	く	け	こ	
D#	た	ち	つ	て	と	MS		D, E	た	ち	つ	て	と	C, G, E	C, F, A	C, A, F	D, E, G	D, G, F	
E	な	に	ぬ	ね	の	IC		E	な	に	ぬ	ね	の	さ	し	す	せ	そ	
F	は	ひ	ふ	へ	ほ			E, F	は	ひ	ふ	へ	ほ	D, A, F	D, G, H	D, H, G	E, G, A	E, A, G	
F#	ま	み	む	め	も			F	ま	み	む	め	も	た	ち	つ	て	と	
G	や	り	ゆ	よ	ろ			F, G	や	り	ゆ	よ	ろ	D, A, F	D, G, H	D, H, G	E, G, A	E, A, G	
G#	ら	る	れ	ろ				G	ら	る	れ	ろ	な	に	ぬ	ね	の		
A	わ	を	ん	!	?			G, A	わ	を	ん	!	?	E, H, G	E, A, C#	E, C#, A	F, A, H	F, H, A	
								A	Enter	Space	Back	MS	IC	は	ひ	ふ	へ	ほ	
<b>英数字</b>						<b>英数字</b>						<b>英数字</b>							
第1音	第2音	C	C#	D	D#	E	F	英数字	C#	D#	F#	G#	A#	英数字	C#	D#	F#	G#	A#
C	a	b	c	d	e	Enter		C	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	
C#	f	g	h	i	j	Space		C, D	f	g	h	i	j	C, D	f	g	h	i	j
D	k	l	m	n	o	Back		D	k	l	m	n	o	D, D	k	l	m	n	o
D#	p	q	r	s	t	MS		D, E	p	q	r	s	t	D, E	p	q	r	s	t
E	u	v	w	x	y	IC		E	u	v	w	x	y	D, E	p	q	r	s	t
F	z	!	?	.	,			E, F	z	!	?	.	,	E	u	v	w	x	y
F#	1	2	3	4	5			F	z	!	?	.	,	E, F	z	!	?	.	,
G	6	7	8	9	0			F, G	1	2	3	4	5	F	1	2	3	4	5
G#	+	-	*	/	=			G	6	7	8	9	0	F, G	6	7	8	9	0
A	(	)	{	}	^			G, A	+	-	*	/	=	G	+	-	*	/	=
								A	(	)	{	}	^	G, A	(	)	{	}	^
								A	Enter	Space	Back	MS	IC	A	Enter	Space	Back	MS	IC
<b>特殊文字</b>						<b>特殊文字</b>						<b>特殊文字</b>							
第1音	第2音	C	C#	D	D#	E	F	特殊文字	C#	D#	F#	G#	A#	特殊文字	C#	D#	F#	G#	A#
C	Esc	Tab	Ctrl	Shift	Alt	Enter		C	Esc	Tab	Ctrl	Shift	Alt	Esc	Tab	Ctrl	Shift	Alt	
C#	PrSc	Del	PgUp	PgDn	Ins	Space		C, D	PrSc	Del	PgUp	PgDn	Ins	C, D	PrSc	Del	PgUp	PgDn	Ins
D	ScrLk	Pause	Home	End	¥	Back		D	ScrLk	Pause	Home	End	¥	D	ScrLk	Pause	Home	End	¥
D#	[	]	#	\$	%	MS		D, E	[	]	#	\$	%	D, E	[	]	#	\$	%
E	&		~	-	@	IC		E	&		~	-	@	E	&		~	-	@
F	<	>	;	:				E, F	<	>	;	:		E, F	<	>	;	:	
F#	←	↑	↓	→				F	←	↑	↓	→	F	←	↑	↓	→		
G	F1	F2	F3	F4	F5			F, G	F1	F2	F3	F4	F5	F, G	F1	F2	F3	F4	F5
G#	F6	F7	F8	F9	F10			G	F6	F7	F8	F9	F10	G	F6	F7	F8	F9	F10
A	F11	F12	,	~	^			G, A	F11	F12	,	~	^	G, A	F11	F12	,	~	^
								A	Enter	Space	Back	MS	IC	A	Enter	Space	Back	MS	IC

字入力領域の階名として割り当てる。例えば、図5に示すように演奏領域のC3, E3, G3の鍵が弾かれた場合、システムは文字入力領域の左端からC, E, Gの順で敷き詰める。

(3) コード推定方式

コード推定方式は、演奏領域で弾いている階名の構成を包含するコードを検索し、候補となるコード群から1つを選んで、そのコード構成音をダイレクト方式と同様の方法で敷き詰める。例えば、図6に示すように演奏領域のC3, E3, G3の鍵が弾かれた場合、候補となるコード - C (C major triad), CMaj7 (C major seventh), C7 (C dominant seventh), C6 (C major sixth) からランダムに1つ選択し、ダイレクト方式と同様の手順で文字入力領域に割り当てる。

ランダム方式では、文字入力領域の各鍵にその都度違った階名が割り当てられ、ユーザは意外性のある演奏を楽しむ。一方、割当て音は、演奏領域で弾いている音が割り当てられることは予測できるが、正確な演奏のコントロールが難しい。ダイレクト方式は、演奏領域で弾いている階名が同じであれば、文字入力領域には同じ階名が割り当てられるため、意図した演奏

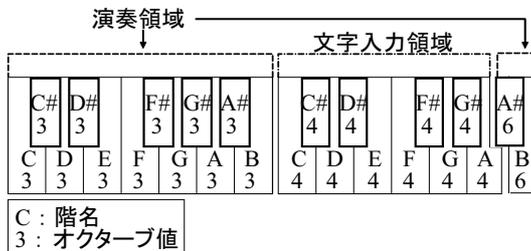


図4 各鍵に割り当てられているノートナンバー

が可能であるが意外性がない。コード推定方式は、両方式の中間的な特徴をもつ手法であるが、演奏領域で弾いている階名以外の階名が割り当てられる可能性があるため意外性のある演奏が可能である。

また、ランダム方式およびダイレクト方式では、演奏領域で弾いている階名が少ない場合、同じ階名が文字入力領域に何度も割り当てられ、特に和音方式による文字入力は、和音として成り立ちにくくなる。コード推定方式では、この問題はおこらない。

各方式はそれぞれ特徴をもち、どれが最適か決める

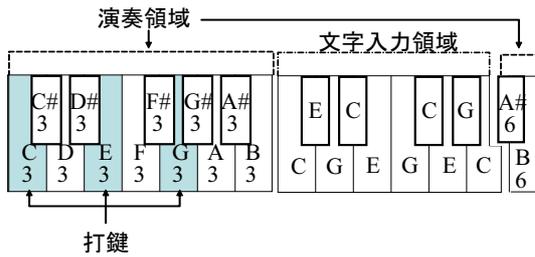


図5 ダイレクト方式の例



図8 TEMPEST の利用図

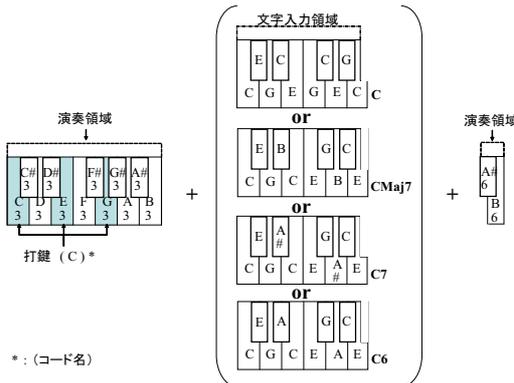


図6 コード推定方式の例

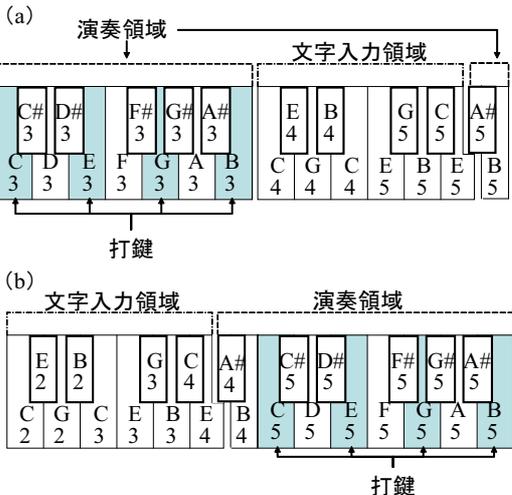


図7 ノートナンバー置換アルゴリズムの例

ことは困難であるため、本システムではこれらの方式を選択的に利用できるようにした。

#### オクターブ値の割当て

一般的なキーボードは、鍵盤上の右の鍵ほど高いピッチが割り当てられている。そこで、システムはこの一般則をできるだけ守るようにオクターブ値を割り当て

る。具体的には、図7(a)に示すように、文字入力領域の両側に演奏領域がある場合、B3からA#5の音域内できるだけ偏りなく、かつ、上記一般則が守られるようオクターブ値を割り当てる。また、図7(b)に示すように、文字入力領域のどちらか片側にしか演奏領域が存在しない場合、文字入力領域と演奏領域の境界の鍵において音高差ができるだけ小さくなるように割り当て、それを基準に開放されている側へ上記一般則が守られるようにオクターブ値を割り当てる。なお、ユーザは演奏領域におけるオクターブ値を自由に割り当てられるものとする。

### 3. 実装

以上に述べた TEMPEST のプロトタイプシステムを実装した。開発は Windows XP 上で Microsoft Visual C++ .NET 2003 を用いた。プロトタイプシステムを用いて文字入力演奏を行っている様子を図8に、一例として単音方式を用いて「大阪大学」と入力している楽譜を図9に示す。図9の上部楽譜はノートナンバー変更アルゴリズムが適用されていないもので、下部楽譜は適用されているものである。また、これは2オクターブの鍵盤のための楽譜で、ノートナンバーおよび演奏/文字入力領域の設定は図4のようにになっている。

楽譜どおりに演奏すると最終的に「大阪大学」と入力されるが、上部楽譜は調性が不安定な音楽だが、ダイレクト方式を適用した場合、調性が整った音楽が生成されている。なお、提案するノートナンバー変更アルゴリズムは、伴奏の組み合わせによって、調性が不安定な音楽も生成でき、ユーザは音楽を自由にコントロールできる。

20年以上の鍵盤演奏歴をもつ本論文の第一著者は TEMPEST を使い文字入力演奏を試みてきた。筆者の主観であるが、鍵とその割当て音の違いによる違和感は、少しの練習で問題にならなくなった。また、TEMPEST は文字入力情報としてノートナンバーしか用いないため、デュナーミクやアーティキュレーション、アゴーギクなどテンポや音量に関する細かい表情付けが行え感情を豊かに表現できる。さらに、提案した3つのノートナンバー変更アルゴリズムは、状況に応じて使い分けている。例えば、あらかじめ作った曲

【ノートナンバー変更アルゴリズム適用なし】

入力文字                      Back Space  
 おお えう いう      Ba Ba Ba Ba      さな はや はな Ba Ba Ba Ba Ba

入力文                      おおえういう                      おお                      おおさなはやはな                      おおさ

変換  
 か た IC(濁音) い か IC(濁音)                      く                      Space

おおさかだ                      おおさかだいが                      おおさかだいがく                      大阪大学

【ノートナンバー変更アルゴリズム適用あり - ダイレクト方式】

文字入力領域の割当て音

おお      えう      いう      Ba Ba Ba Ba

か      た      IC(濁音)      い      か      IC(濁音)      く      Space

図9 「大阪大学」を入力する楽譜

を披露する場合は、想定する音が割り当てられるダイレクト方式をよく用い、即興で演奏すると予想外の展開が期待できるランダム方式やコード推定方式を使うことが多い。加えて、伴奏方式は調性が限定されてしまうため表現に制約を受けるが、限定された範囲内でのコード進行は無理せず組み立てられる。また、メロディパートを担当することが多い右手が自由に演奏できるため作曲しやすい。

4. 評価と考察

TEMPEST を評価する方法として、ユーザの感情を表現できているかという入力側の評価と、演奏者の感情が視聴者に伝わっているかという出力側の評価が考えられる。これらの評価はいずれも客観的な指標で測定できないため、本研究では主観評価により、感情

表 2 音楽性・芸術性に関するアンケートと結果

質問項目	音楽性		芸術性	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
適用なし	1.66	1.15	1.22	0.65
ランダム方式	4.33	0.86	2.94	1.27
ダイレクト方式	3.99	1.02	2.41	1.23
コード推定方式	3.99	1.02	3.09	1.01
伴奏方式	3.81	0.94	3.19	0.90

表 3 入力した文章

楽曲番号	文章
1 曲目	悲しいことがありました。
2 曲目	青い海。緑がいっぱい。
3 曲目	おやすみ
4 曲目	急ぎなさい速く
5 曲目	もういやだ

伝達の精度を調べた。入力側の評価は、演奏者個人のそもそもの表現力や、演奏スキル、文字入力スキルなどが評価に影響すると考えられ一般性のある評価が困難である。したがって、本研究では後者の感情伝達に関する評価に注力した。

#### 4.1 音楽性・芸術性に関する評価

感情伝達に関する評価を行うにあたり、提案したノートナンバー変更アルゴリズムおよび伴奏方式の有効性および各方式間の差異について検証した。以下、実験の詳細について説明する。

##### 環境

実験には Windows XP が動作するノートパソコン (IBM ThinkPad X30) を利用し、文字表示用にプロジェクタを使ってスクリーン (40 インチ) に投影した。音源は、Roland 社の SC-8820 を、出力スピーカーは BOSE 社の小型スピーカー (MM-1)、電子鍵盤楽器は、Roland 社の OXYGEN 8 を使用した。

##### 被験者

被験者は、筆者らが所属する大学院大学の学生 18 名に加え、社会人、学生などウェアラブルコンピューティングに興味のある 20 代～60 代までの 24 名。音楽情報科学分野の専門家 6 名の計 48 名である。

##### 手続き

演奏者は図 9 の「大阪大学」を入力し、被験者にはノートナンバー変更アルゴリズムが適用されていない場合と、提案した 3 つのノートナンバー変更アルゴリズムを適用した場合を視聴してもらった。加えて、伴奏方式を使って同様の文字を入力している演奏も視聴してもらった。伴奏方式では、各文字に割り当てられているコードを音楽的につなぐために余分なコードを挿入したため、楽曲の長さが図 9 と比べ 2 倍程度長くなった。被験者には表 2 に示す音楽性 (不協和音、不快な音列が含まれるなど音楽的な違和感をもったか?) と芸術性 (演奏は芸術性に優れていたか?) に関するアンケートについて評価してもらった。また、各評価指標は 1 (感じない)～5 (感じる) の 5 段階である。

##### 結果と考察

音楽性および芸術性において、提案方式はいずれも特別な工夫を行っていない「適用なし」の演奏より良い評価を得た。しかし、各提案方式間の差異はほとんど見られなかった。また、検定を行った結果、有意水準 1% で「適用なし」と提案方式間で有意が見られなかった。

これらの結果より、提案方式はいずれも提案方式を適用しない場合と比較して、音楽的、芸術的に良い印象を与えることができ、提案方式の効果を証明できた。また、各方式間で印象の差異はなく、感情伝達を目的とする場合、ユーザの嗜好によって選択的に利用して

良いと言える。

#### 4.2 感情伝達に関する評価

本実験では、演奏者の感情が視聴者に正確に伝わっているかを調査した。以下、実験の詳細について説明する。

##### 環境

実験には Windows XP が動作するノートパソコン (IBM ThinkPad X30) を利用し、文字表示用にプロジェクタを使ってスクリーン (40 インチ) に投影した。音源は、Roland 社の SC-8820 を、出力スピーカーは BOSE 社の小型スピーカー (MM-1)、電子鍵盤楽器は、鍵盤数が 88 鍵の CASIO 社の PX-110 を使用した。

##### 被験者

被験者は、筆者らが所属する大学院大学の学生 15 名および一般人 174 名の計 189 名である。

##### 手続き

本実験では、表 3 に示す 5 つの文章の文字入力演奏を視聴してもらった。なお、適用した文字入力方式およびノートナンバー変更アルゴリズムは、予備実験において差異が見られなかったため、演奏者の主観で決めた。

実験の手順を以下に示す。

(1) 演奏者があらかじめ演奏で表現したい感情を表 4 に示す形容詞対を用いて 5 段階で得点付けする (感情マップとよぶ)。

(2) 被験者は各文字入力演奏を視聴し、各曲に対して (1) と同様の感情マップを作成する。

(3) 被験者は入力文字と演奏の雰囲気調和していたかを 5 段階 (5:調和している～1:調和していない) で評価する。

(4) 演奏者の感情マップを被験者に提示し、被験者はそれに納得できるか 5 段階 (5:同意できる～1:同意できない) で評価する。

(5) 全ての文字入力演奏を視聴した後、被験者は文字入力演奏が感情伝達に有効かどうか 5 段階 (5:有効～1:有効でない) で評価する。

(6) 被験者は演奏、入力文字、演奏している様子など文字入力演奏全体のパフォーマンス性に関して表 5 に示すアンケートに 5 段階で評価する。

なお、表 4 に示す形容詞対は川原ら [8] の研究成果に基づいて選出した。同論文では主成分分析から楽曲の性質を決定づける 5 つの有意味な因子を定義し、それらの因子に属する特徴的な形容詞対が示されている。実験に使用した形容詞対は、これら 5 つの因子に属する形容詞対の中から適当な形容詞対を 1 対選出した。

##### 結果

演奏者の感情伝達度を評価するために、演奏者が得点付けした感情マップと被験者が評価した感情マップと

表 4 演奏者の感情マップと印象誤差

		5:楽しい~1:悲しい	5:はげしい~1:おだやかな	5:重い~1:軽い	5:すんだ~1:にこった	5:安らかな~1:不安な
1 曲目	演奏者の感情	1	2	5	3	1
	平均	0.40	0.43	0.69	0.79	0.49
	標準偏差	0.60	0.53	0.78	0.70	0.59
2 曲目	演奏者の感情	4	2	2	5	4
	平均	0.69	0.79	0.90	0.77	0.64
	標準偏差	0.64	0.68	0.85	0.69	0.66
3 曲目	演奏者の感情	4	1	2	4	5
	平均	0.91	0.41	0.58	0.63	0.41
	標準偏差	0.54	0.62	0.55	0.59	0.70
4 曲目	演奏者の感情	2	4	4	3	2
	平均	0.88	0.52	0.90	0.53	0.47
	標準偏差	0.81	0.61	0.59	0.64	0.60
5 曲目	演奏者の感情	1	5	5	1	1
	平均	1.05	0.47	0.69	0.62	0.51
	標準偏差	0.88	0.56	0.61	0.55	0.66
全体	平均	0.79	0.47	0.69	0.62	0.51
	標準偏差	0.27	0.22	0.25	0.22	0.11

の差の絶対値である「印象誤差」を定義する。この印象誤差が小さいほど演奏者の感情が被験者に伝わっていることになる。演奏者が得点付けした感情マップ、各楽曲および楽曲全体における形容詞の印象誤差の平均と標準偏差を表 4 に示す。また、実験手順 (3)~(6) の評価結果を表 5 および表 6 に示す。

表 4 の結果から印象誤差の平均および標準偏差は小さく全ての楽曲において演奏者の意図する感情が被験者に伝わっていることがわかる。また、4 曲目の「楽しい~悲しい」など入力文章に関連しない形容詞の印象誤差は、1 曲目の「楽しい~悲しい」など入力文章から連想できる形容詞の印象誤差より大きくなった。このように、入力文字が感情伝達を促進していることがわかる。

表 6(3) および (4) の結果からおおむね入力文字の意味と演奏の雰囲気は調和していると評価され、演奏者の感情表現にも同意を示してもらえた。各楽曲において若干の差はあるが、個人差を取り除けない印象評価において、本実験の評価結果は、感情伝達において有意であることを示していると考えられる。さらに、表 6(5) の結果から、演奏を交えた文字入力は感情表現に有効だという結果が得られた。

以上の結果から、TEMPEST は演奏者の感情伝達手段として有効なシステムであることが証明された。

加えて、表 5 に示す文字入力演奏全体の評価結果から、見物人に興味や没入を与える「驚き」や「面白さ」はいずれも良い評価を得た。また、パフォーマンスを引き立てる上で重要な要素である「かっこよさ」も認められた。さらに、筆者らはこれまで学会の登壇発表 (第 55 回および第 57 回音楽情報科学研究会 [12], [13], 第 1 回ウェアラブルコンピューティング研究会 [14], 第 116 回ヒューマンインタフェース研究会, WISS2005) やデモ発表 (第 56 回および 67 回音楽情報科学研究会 [16], [?], WISS2004, ICEC2006 [25]), イベント (WPC EXPO 2004 [5]) などで実際に TEMPEST のデモンストレーションを行ったり、文字入力演奏しているムービーを見てもらい、いずれも好評を博した。以上の結果から、TEMPEST はパフォーマンス性に優れているといえる。

表 5 パフォーマンス性に関するアンケート

質問項目	平均	標準偏差
面白かったか? (5:面白い~1:つまらない)	4.87	0.33
驚いたか? (5:驚いた~1:ありきたり)	4.65	0.62
かっこいいか? (5:良い~1:悪い)	4.25	0.81

表 6 感情伝達に関する評価結果

		手順 (3)	手順 (4)	手順 (5)
1 曲目	平均	4.43	4.09	-
	標準偏差	0.77	0.80	-
2 曲目	平均	3.62	3.17	-
	標準偏差	0.99	1.08	-
3 曲目	平均	4.43	4.18	-
	標準偏差	0.77	0.71	-
4 曲目	平均	3.86	3.45	-
	標準偏差	1.00	0.97	-
5 曲目	平均	4.26	4.37	-
	標準偏差	0.93	0.82	-
全体	平均	4.17	3.85	4.38
	標準偏差	0.39	0.53	0.62

### 4.3 関連研究

鍵盤楽器のメタファを利用した文字入力インタフェースは、タイプライター [2] において古くから応用され、例えば、ピアノに近い 2 段のキー配列から構成されるインタフェースや、Baudot コード [1] のための 5 つのキーの組み合わせで入力を行うインタフェースなどが実用化されている。他の楽器のメタファを利用した研究事例として、Piccolo Mouse [3] や OBOE [7], Twiddler [22] などがある。エイ・エス・インタラクティブ社が開発した Piccolo Mouse はピッコロの運指や関節運動をヒントに開発したマウスで人間工学的に考えられた製品である。また、OBOE は楽器のオーボエをメタファにしたインタフェースで、文字入力方式に視覚障害者が用いる点字入力方法を採用することで高速な文字入力を実現している。さらに、ウェアラブルコンピューティング向けデバイスである Twiddler は、ギター演奏をメタファにしたインタフェースである。鍵盤楽器を利用して、MIDI データを計算機上で編集するインタフェース [15] も提案されている。MIDI データの入力や編集において鍵盤楽器と計算機のキーボードを併用する方式は、インタフェース間の移動や手間を必要とするという考えから作業を鍵盤楽器のみで行うことで効率化を図るという研究である。また、

鍵盤楽器特有の打鍵速度を編集作業に利用することで、より効率よく感覚的に作業を行う方法について考案している。

これらはいずれも入力効率や入力のしやすさなどを求めているのに対し、本研究では芸術性に重点を置いている点で目的が異なる。

文字入力と楽器演奏を結びつけた作品の事例として、三輪真弘氏の Send Mail [18] がある。これは、楽器演奏によって文字入力を行い作成された電子メールを送信すると、送られてきたメールの文字列が MIDI ノートナンバーに変換される作品である。この作品は、単純にノートナンバーと文字をマッピングしただけであるため、本研究のように音楽表現や伝達を考慮した文字入力方式の工夫は行われていない。

演奏表現に注力できるシステムや楽器の事例として CiP [9]、光るギター [4]、GraspMIDI [21]、sfp [10] などがある。CiP や光るギターは、演奏中にミスタッチをしても正しい音に自動修正する機能をもつ。これにより、演奏者は演奏表現に集中できる。また、指揮システムである GraspMIDI や sfp は、音楽全体のテンポや音量を直感的に制御できるようになっている。演奏家もつ表現力を活かしたいという点では本研究のコンセプトと同じであるが、楽音レベルで演奏をコントロールできない点や文字入力など他の要素に転用していない点において異なる。

#### 4.4 応用

TEMPEST を用いた応用アプリケーション例としてかけ合い演奏型チャットシステムが考えられる。チャットはそれぞれのユーザが交互に文字入力を行うため、周囲の人から見れば、あたかもかけ合い演奏しているように見える。嬉しい・楽しいといった気持ちを表現するために、ポップなコード進行やリズムを展開したり、寂しい・悲しいといった気持ちを伝えたいときは、マイナー調の演奏とするなどチャットに感情を含めることが可能になる。また、ペロシティ、音色、コードの調性に合わせてフォントサイズ、フォント、文字色などが変わる、ある特別な入力をする文字にスピン効果やフェード効果といった特殊効果が加わるなどメディアアートへの応用が考えられる。

### 5. おわりに

本研究では、文字入力に音楽表現を付加できる鍵盤奏者のための新たな感情表現および伝達システム TEMPEST について述べた。TEMPEST は文字入力による意図しない不協和音や、調性のゆらぎが生じないように設計されている、さらに、文字入力機能の独立性を高めることで、1 つの文字に対しさまざまな奏法、音高、オクターブの高さで入力でき、さまざまな感情表現を付加した文字入力演奏が可能になる。また、プロトタイプによる文字入力演奏の視聴評価実験から、テキストだけの表現と比較して豊かに感情伝達できることが証明された。

今後はさまざまな鍵盤習熟者を対象とした試用評価実験を行いシステムの有効性に関して評価する予定である。

謝辞 末筆ながら、本研究を進めるにあたって評価実験を引き受けて下さった諸氏には有益なコメントを多数頂いた。ここに衷心より感謝の意を表わす。なお、本研究の一部は、中山隼雄科学技術文化財団研究助成および日本学術振興会科学特別研究員奨励費の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

#### 文 献

- [1] Baudot コードのホームページ。  
URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Baudot>
- [2] Typewriter のホームページ。  
URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Typewriter>
- [3] Piccolo Mouse のホームページ。  
URL: <http://ascii24.com/news/i/topi/article/1998/07/02/print/611753.html>
- [4] 光るギターのホームページ。  
URL: <http://www.yamaha.co.jp/product/epiano-keyboard/ez-eg/index.html>
- [5] WPC EXPO 2004 で披露した TEMPEST に関する記事  
URL: <http://pcweb.mycom.co.jp/cgi-bin/print?id=24957>
- [6] 安部美緒子・大村和典：握力インタフェースによる遠隔地間でのインフォーマルコミュニケーション、信学技報, Vol. 99, No. 582 (2000).
- [7] 雨宮智浩, 広田光一, 廣瀬通孝：簡型点字入力インタフェースの開発と評価、情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 7, pp. 1701-1710 (2005).
- [8] 川原 浩, 野波健彦：音楽教育における実験的研究 (II) - 享受体験におけるイメージの言語化に関する分析, 広島大学教育学部紀要第 4 部, 26, pp. 75-85 (1997).
- [9] 大島千佳, 西本一志, 宮川洋平, 白崎隆史：音楽表情を担う要素と音高の分割入力による容易な MIDI シーケンスデータ作成システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 7, pp. 1778-1790 (2003).
- [10] 片寄晴弘, 奥平啓太, 橋田光代：演奏表情テンプレートを利用したピアノ演奏システム：sfp, 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 11, pp. 2728-2736 (2003).
- [11] 澤田秀之, 鶴丸朋史, 橋本周司：GraspCom - 力覚を利用した双方向入出力デバイスの試作-, 情報処理学会インタラクティブ'99 論文集, pp. 201-208 (1999).
- [12] 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦, 西尾章治郎：鍵盤を用いた PC 用入力インタフェースの設計と実装, 情報処理学会研究報告 (音楽情報科学研究会 2004-MUS-55), Vol. 2004, No. 41, pp. 27-32 (2004).
- [13] 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦, 西尾章治郎：歌唱機能をもつ黒鍵追加型小型鍵盤楽器モバイルクラヴィア IV の設計と実装, 情報処理学会研究報告 (音楽情報科学研究会 2004-MUS-57), Vol. 2004, No. 111, pp. 101-106 (2004).
- [14] 竹川佳成, 寺田 努, 大江瑞子, 西尾章治郎：小型鍵盤を用いた音楽活動支援システムについて, ウェアラブルコンピューティング研究会研究報告, Vol. 1, No. 1, pp. 52-59 (2005).
- [15] 中山圭, 野池賢二, 野瀬隆, 乾伸雄, 小谷, 善行：楽器鍵盤による音楽情報編集システム, 情報処理学会研究報告 (音楽情報科学研究会 1996-MUS-16), Vol. 1996, No. 1, pp. 1-6 (1996).

- [16] 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦, 西尾章治郎: 鍵盤を用いた芸術的な PC 操作, 情報処理学会研究報告 (音楽情報科学研究会 2004-MUS-56), Vol. 2004, No. 56, p. 29 (京都大学, 京都, 2004 年 8 月).
- [17] 竹川佳成, 寺田努, 西尾章治郎: TEMPEST: 音楽表現が可能な文字入力支援システム, 情報処理学会研究報告 (音楽情報科学研究会 2006-MUS-67), Vol. 2006, No. 113, p. 11, デモ発表 (関西学院大学梅田キャンパス, 大阪, 2006 年 10 月).
- [18] 三輪真弘: 出品作品 "Send Mail" について - ある作曲家が体験したピッチ検出の実際と限界 -, 情報処理学会研究報告 (音楽情報科学研究会 1996-MUS-19), Vol. 1997, No. 18, pp. 47-48 (1997).
- [19] 山田裕子, 平野貴幸, 西本一志: TangibleChat: 打鍵振動の伝達によるキーボードチャットにおける対話状況アウェアネス伝達の試み, 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 5, pp. 1392-1403 (2003).
- [20] E. Mynatt, J. Rowan, S. Graighill, and A. Jacobs.: Digital Family Portraits: Providing Peace of Mind for Extended Family Members., *Proc. Conference on Human factors in computing systems (CHI 2001)*, pp. 333-340 (2001).
- [21] H. Sawada, N. Onoe and S. Hashimoto.: Sounds in Hands - A Sound Modifier Using Datagloves and Twiddle Interface -, *Proc. International Computer Music Conference (ICMC 1997)*, pp. 309-312 (1997).
- [22] K. Lyons, D. Plaisted, and T. Starner.: Expert Chording Text Entry on the Twiddler One-Handed Keyboard., *Proc. IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC2004)*, pp. 94-101 (2004).
- [23] T. Yoshino, T. Muta, and J. Munemori.: Namba: Location-Aware Collaboration System for Shopping and Meeting., *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol. 48, No. 3, pp. 470-477 (2002).
- [24] Y. Itoh, A. Miyajima, and T. Wanatabe.: 'TSUNAGARI' Communication: Fostering a Feeling of Connection Between Family Members., *Proc. Conference on Human factors in computing systems (CHI 2002)*, pp. 810-811 (2002).
- [25] Y. Takegawa, T. Terada, and S. Nishio: TEMPEST: A Text Input System for Musical Performers., *Proc. of Int'l Conf. on Entertainment Computing (ICEC 2006)*, pp. 322-325 (2006).



竹川佳成

2003 年三重大学工学部情報工学科卒業 . 2005 年大阪大学大学院情報科学研究科修士課程修了 . 現在 , 同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士後期課程に在籍 . 音楽情報科学 , ウェアラブルコンピューティングの研究に従事 . 情報処理学会 , 日本データベース学会の会員 .



寺田努

1997 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業 . 1999 年同大学院工学研究科博士前期課程修了 . 2000 年同大学院工学研究科博士後期課程退学 . 同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手 . 2005 年より同講師 . 現在に至る . 2002 年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助手 , 2005 年より同講師を併任 . 2004 年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事 , 2005 年より同機構事務局長を兼務 . 工学博士 . アクティブデータベース , ウェアラブルコンピューティング , ユビキタスコンピューティングの研究に従事 . IEEE , 情報処理学会 , 電子情報通信学会 , 日本データベース学会の各会員 .



塚本昌彦

1987 年京都大学工学部数理工学科卒業 . 1989 年同大学院工学研究科修士課程修了 . 同年 , シャープ (株) 入社 . 1995 年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師 , 1996 年同専攻助教授となる . 2002 年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授となる . 2004 年より神戸大学工学部電気電子工学科教授 , 2007 年より同大学大学院工学研究科電気電子工学専攻教授となり , 現在に至る . 工学博士 . ウェアラブルコンピューティングおよびユビキタスコンピューティングに興味を持つ . ACM , IEEE 等 8 学会の会員 .



西尾章治郎

1975 年京都大学工学部数理工学科卒業 . 1980 年同大学院工学研究科博士後期課程修了 . 工学博士 . 京都大学工学部助手 , 大阪大学基礎工学部および情報処理教育センター助教授 , 大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻教授を経て , 2002 年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻教授となり , 現在に至る . 2000 年より大阪大学サイバーメディアセンター長 , 2003 年より大阪大学大学院情報科学研究科長を併任 . この間 , カナダ・ウォータールー大学 , ビクトリア大学客員 . データベース , マルチメディアシステムの研究に従事 . 現在 , Data & Knowledge Engineering 等の論文誌編集委員 . 情報処理学会フェロー , 電子情報通信学会フェローを含め , ACM , IEEE など 8 学会の会員 .