

装着型コンピュータ：家庭電化製品の ユーザインタフェース用超小型計算機

伊賀 聡一郎[†] 安村 通晃[†]

マイクロコンピュータを利用した多機能な日常家庭電化製品（家電品）が広く利用されるようになってきている。本研究では、これらの家電品のユーザインタフェース（UI）上に装着して利用する超小型の装着型コンピュータ（Attachable Computer）を提案する。Attachable Computer は家電品のUIに直接装着することにより、UIの状態変化を認識し、情報の操作を行うことのできる小型の計算機システムである。我々は本アプローチに基づき、小型のワンチップマイクロコンピュータとフォトセンサによるハードウェアプロトタイプシステムを試作した。本システムにより、家電品のUI操作をトリガとした複数人の間の情報共有、機器のヘルプやガイドシステム、障害者支援システムへの応用が可能である。プロトタイプシステムを利用した試用評価実験を行い、実用面での検討を行った。

Attachable Computer: Augmentation of Electric Household Appliances by Portable Fit-up Computer

SOICHIRO IGA[†] and MICHIAKI YASUMURA[†]

A new concept of "Attachable Computer" is proposed for the purpose of augmenting the use of daily artifacts by fit-up type small computer devices which can be directly attached on user interfaces of artifacts. This Attachable Computer is a small computer device which can recognize situations on the user interface of electric household appliances such as a light-switch, a display panel of video tape recorder, or other consumer products. We have implemented a hardware prototype system which can manipulate computer information just by directly controlling the user interface of real world artifacts. This prototype system can be applied for an information sharing system, a help and guide system for the artifacts, and an aid for the disabled people. We also conducted an experiment to evaluate our prototype system, and we discussed on the practical application of our approach.

1. ま え が き

日常利用する家庭電化製品（家電品）にも小型のマイクロコンピュータが利用されるようになってきており、情報操作機能を持つ家電品⁹⁾も製品として登場してきている。今後はさらに半導体技術の進歩とともに、マイクロコンピュータを利用した家電品が急速に広まると思われる。

これらの日常家電品は、一般に、個々の道具が果たすべき役割としての機能的な部分と、ボタンやスイッチなどの操作パネル、あるいは、液晶などによる表示部分といったユーザインタフェース（UI）から構成される¹⁶⁾。たとえば、ボタン、スイッチ、LCD、LEDパネルなどである。これら機器のUIは、その機器の

機能を操作する方法を反映しており、ユーザは機器を操作したUI上の物理的な変化を知覚することで機器の状態や操作結果を知ることができる。しかし、製品のUIにおいて、デザイナーの描くモデルとユーザのモデルが必ずしも一致することはなく、機器の小型化あるいは多機能化が進めば、ユーザはその機器の操作に関して記憶すべきことが増える¹⁰⁾。さらに、計算機などを埋め込んだハイテク家電品が普及すると、デザイナーとユーザの間の溝はさらに広まることが予想される。

この問題に対して、汎用の学習型リモートコントローラの利用¹⁹⁾や、携帯端末の利用⁷⁾により操作インタフェースを統一するアプローチがある。しかし、様々な機能を持つ機器を統一のインタフェース上で表現するのは困難であり、ユーザの操作に関する記憶負荷を軽減するには十分とはいえない。また、リモートコントローラや端末からでは機器の実際の状態を知ることが困難である。一方では、家電品や情報機器などす

[†] 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科
Graduate School of Media and Governance, Keio University

すべての機器をネットワーク接続することにより、一貫して制御するアプローチがある¹⁵⁾。これにより機器制御を有効に行うことができるが、機器装置の内部表現が複雑になり、UIと装置との物理的關係や空間的關係¹¹⁾における抽象度が上がるため、ユーザにとってさらに記憶すべき操作手順や操作法が増えることも考えられる。特に、高齢者など一般に新しい機器を操作することが困難な人にとって、多機能の新しい機器の使い方を理解することは敬遠されやすく⁸⁾、複雑な機能を持つ家電品や情報機器を利用するための支援が不可欠である。

本研究では、家電品などのUIに着目し、機器のUI面に直接装着して、UIからの情報をトリガとして動作する超小型の計算機(Attachable Computer)を提案する。この小型計算機は家電品などのUI上の変化を認識し、ユーザのプログラムに従って情報のやりとりを行う。家電品などの機器のUIからの情報を利用することにより、機器操作をトリガとした複数人の間の情報共有、機器に直接装着するヘルプやガイドシステム、UI情報の変換による障害者支援システムなどを構成することができる。

2. Attachable Computer

「装着する」ことで道具の機能を拡張するアイデアは既存の日常品でもデザインされている。図1に様々な市販の装着型の道具の例を示す。(a)では、小型の磁石をホワイトボードに装着しており、ボード上の情報に重ねてある情報を提示している。(b)は壁に装着するコートハンガーであり、壁の利用方法を拡張するものである。(c)では、ティッシュ箱を壁に付けており、机の空間を広げることができる。(d)は、使い捨てカメラに装着して、セルフタイマ機能を持たせることができる道具である。

このように、新しいメカニズムを持つ道具を既存の日常物や機器などの人工物に装着することにより、人工物が持っている機能を拡張することができる。それに加えて、装着型の道具では、それらが元来持っている機能やデザインを損なうことなく、機能の拡張を行うことができる。さらに、機能の変換や拡張により、その道具を使いやすくすることができる。

ここで我々は、「Attachable Computer(装着型コンピュータ)」のコンセプトを提案する^{3),4)}。Attachable Computerは人工物のUI面などに直接装着し、ユーザが人工物のボタンや液晶ディスプレイなどのUIを操作する際の形状や表示内容といった物理的な変化を読みとって、人工物の機能を拡張する小型の計算機で

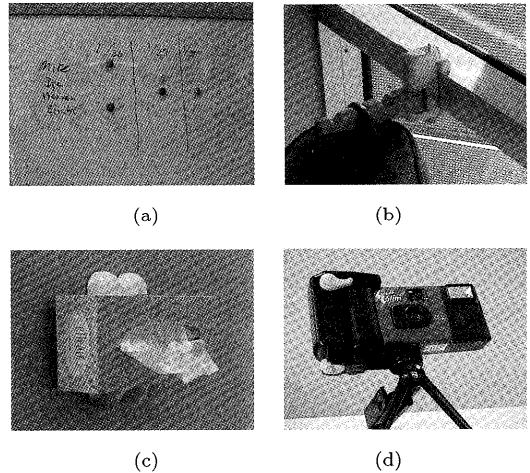


図1 身の周りの装着型の道具：(a)磁石によるホワイトボードのマーキング；(b)コートハンガー；(c)壁掛けティッシュ箱；(d)使い捨てカメラ用セルフタイマ

Fig. 1 Attachable things around us: (a) marking white board by magnets; (b) tapestry coat hanger; (c) tissue box attached on the wall; (d) self-timer attached on a disposable camera.

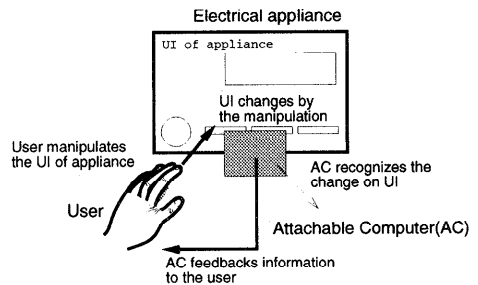


図2 装着型コンピュータ

Fig. 2 Definition of attachable computer.

ある(図2)。ユーザはAttachable Computerの操作を意識的に行うことなく、家電品UIの直接操作のみで情報の操作や機器の制御などのフィードバックを得ることができる。計算能力を持ったメカニズムを装着することにより、従来の日常物に装着する道具の能力に加えて、その日常物の状態の変化に基づいた機能の変換や拡張を行うことができる。

汎用の学習型リモコンを利用して家電品を制御するアプローチでは、様々な機能を持つ家電品を統一的に制御するインタフェースをデザインすることは困難であるが、本手法では家電品の物理的なUI面に着目することにより、様々な家電品に対して機能の拡張を行うことが可能である。また、リモコンの場合、どのリモコンがどの機器に対応するのか分らなくなることもある。さらに、リモコン自体が物理的に見つから

なくなる場合もある。これに対して本手法では、家電品のUI自体に新しい機能を持った計算機が装着されているため、ユーザは機器との物理的な対応がとりやすく、物理的に見つからなくなることもない。

LANCやIEEE1394規格のように民生機器をシリアル接続する機器制御は、主に情報機器や専門的な機器を対象としているが、本手法では家庭での利用が想定される日常家電品に対する機能拡張を実現できる。また、シリアル接続による制御方式では、ユーザが望む制御機能が必ずしも機器のデザインに反映されていない場合があるが、本手法では家電品のUI面に物理的に新しい機能を付加することができるため、ユーザ自身が必要とする家電品への機能付加の実現が容易である。

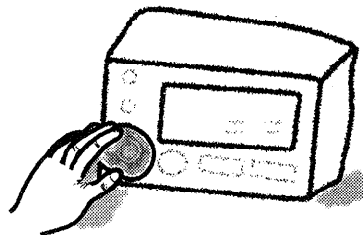
図3に我々の考えるAttachable Computerのコンセプトのデザインを示す。(a)の粘土メタファ(可塑型)では、家電品などの人工物のUI上に粘土のような形の小型の計算機を装着する。たとえば、電灯のスイッチに粘土のような小型計算機を直接装着して、スイッチの操作に応じて情報を提示するようなシステムである。(b)のセロテープメタファ(透過型)では、透明のセロテープのような計算機デバイスを人工物のUIに装着する。これは、ビデオデッキのようにLCD画面をUIとして持った機器に透明なセロテープのような小型計算機を装着することで透過型の情報を提示するようなシステムである。可塑型、透過型といった日常物の持つメタファを利用することができれば、計算機初心者にも操作可能なインタフェースをデザインできると考える。

家電品などの機器や人工物に計算機自体を直接装着するアプローチのメリットには、以下のようなものが考えられる。

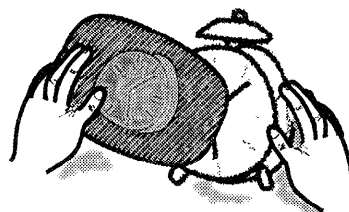
(1) 機器の機能拡張が容易に実現できる：機器に小型の計算機デバイスを装着することにより、新しい機能を機器に埋め込むことなく拡張することができる。機器を外在化することにより、インタラクションが明示的になり、機能の拡張が行われていることがユーザにとって理解しやすいことが考えられる。また、機器のUIがユーザにとって理解しにくいものである場合には、ユーザにとって使いやすいUIに変換することもできる。

(2) インタラクション方法の学習を最少化できる：ユーザが従来利用してきた家電品のUIを直接インタラクションに応用しているため、小型計算機デバイスの操作に関する学習を少なくすることができる。

(3) 間接的な状況認識技術を必要としない：従来、



(a) Clay Metaphor: Attach computer devices like clay on the artifacts.



(b) Sellotape Metaphor: Attach see-through computer devices like sellotape on the artifacts.

図3 装着型コンピュータのコンセプトデザイン
Fig. 3 The design of attachable computer.

実世界の状況認識技術としては、バーコード^{13),14)}によるマーキング方式などが検討されているが、本アプローチでは、直接対象とする人工物に小型計算機を装着するため、間接的な認識技術を利用する必要がない。このため、ユーザは符合化などの処理を負う必要がない。また、対象の状況変化に応じて計算機自体の振舞いを変えることができる。

(4) エンドユーザによる応用の広がり：新しい機能を埋め込み、ネットワーク化することにより機器の統合化を行うアプローチでは、すでに情報化された機器や専門的な民生機器を対象としている。本アプローチでは、身の周りの日常家電品を対象としているため、これまで計算機を利用したことのない初心者やエンドユーザ自身が新しい応用を創案できると考える。

3. プロトタイプシステム

家電品のUIに装着して利用する小型計算機のアプローチの有用性を確認する目的で、ハードウェアによるプロトタイプシステムを試作した。

プロトタイプシステムの構成の概観を図4に示す。システムは、家電品などのUIの操作による変化を読みとるセンサ部分と、その入力を識別するための認識部分、認識結果に従ってユーザにフィードバックを行

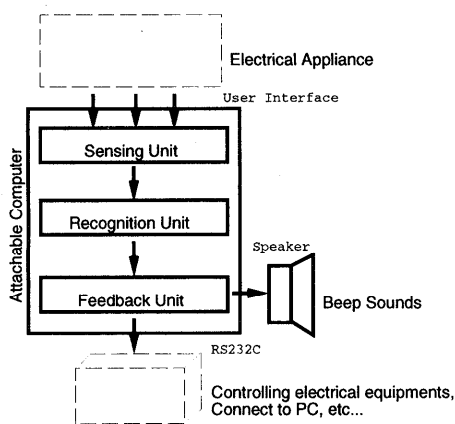


図4 システムの構成
Fig. 4 System architecture.

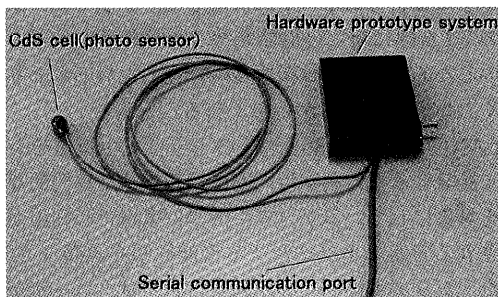
う部分から構成される。

3.1 ハードウェア

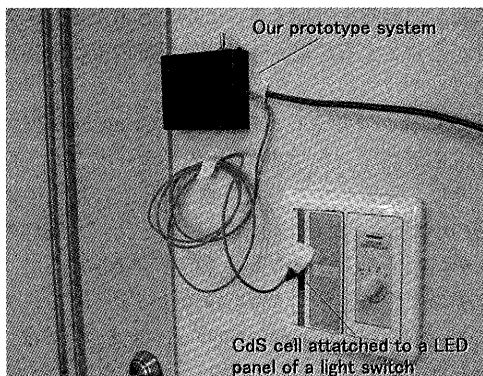
図5(a), (b)にプロトタイプシステムの外観を示す。試作したプロトタイプは、本体部分のCPUとしてはPIC16C57 (Parallax社 Basic Stamp2)を利用しており、CdSセル(受光)、RS232Cシリアル出力ポート、LED、圧電ブザーから構成され、9Vの乾電池で動作する。本体部分はEEPROMを内蔵したワンチップマイクロコンピュータで、BASICを用いてプログラムすることができる。メモリは不揮発性であり、電源を遮断してもプログラムされたデータは消失しないため、実用に際してのメリットは大きい。システムの重量は電池部分とセンサ部分を含めて140gである。大きさは、本体部分が74×64×20mmであり、CdS受光部分が1cm角程度である。現状では、システムと受光部分のUI面への装着には、ゲル状の粘着パッド(松下電工EW4121)や両面テープを利用している。

3.2 CdSセルの受光レベル調整

CdSセル受光部は半固定VRでon/offのレベルを変えられるようになっている。受光レベルの選択に際して、20種類の身の周りの日常家電品のUI(LED、LCDパネル)の輝度値分布を256階調(暗0~明255)で表現したサンプルを収集した。図6に収集した20種類の日常品のUIの輝度値の平均分布の結果を示す。横軸が輝度の階調を示しており、縦軸は、サンプルの分布の割合を示している。モード法に¹²⁾よりCdSセル受光部の閾値レベルを輝度値レベルで66程度とした。この値を基に、半固定VRの調整を行い、CdSセルの受光レベルの調整を行った。これにより、一般的に身の周りで利用されている家電品のLEDやLCD



(a) The hardware with a photo-sensor and a portable micro computer configuration.



(b) Prototype system in use: the prototype system is attached to the LED panel of a light-switch.

図5 プロトタイプシステム外観

Fig. 5 Outlook of a prototype system.

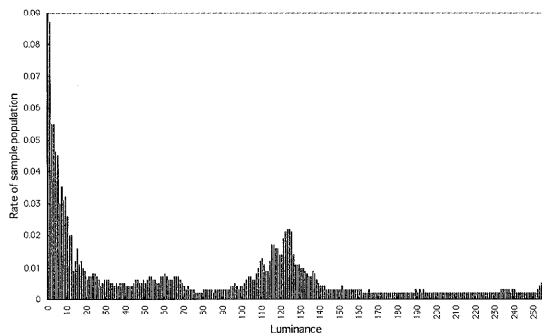


図6 CdSセル受光レベル調整のための実験結果
Fig. 6 Results of CdS cell threshold-tuning experiment.

パネルといった光学的に実現されたUI上の変化をおおむね認識することができる。現状では、ボタンやボリュームなどの物理的な形状変化をとまなうUIを識別することはできないが、認識対象とするUI面によってセンサ部分を交換することは容易である。

3.3 ユーザへのフィードバック

図7にユーザへのフィードバック実行の構成の概観

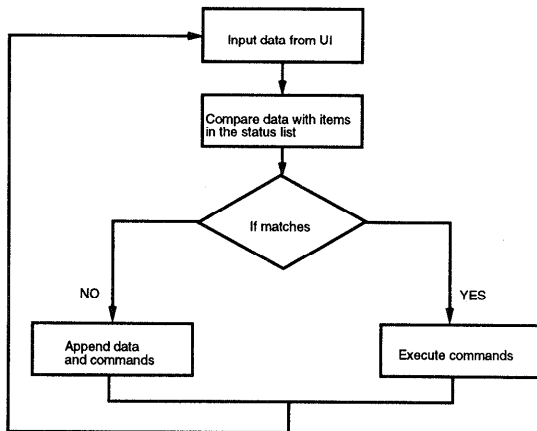


図7 ユーザへのフィードバック実行

Fig. 7 Overview of user feedback procedure.

を示す。本システムでのフィードバック動作は以下のような手順で行われる。

- (1) 本システムが家電品のUIに装着され、電源が入ると同時にそのときの家電品のUIの状態を記録する。
- (2) 家電品のUIの状態変化が検出された場合、記録してある状態のリストと比較を行う。記録されている状態がなければ新規の状態として記録する。
- (3) 現在のUIの状態と記録された状態が一致した場合、フィードバックとして実行する情報が記録されていなければフィードバック情報の記録を行う。すでにフィードバック情報が記録されている場合、そのフィードバックを実行する。

現状のプロトタイプシステムでは、CdS 受光部で家電品のUIの変化を検知した結果、圧電ブザーによる音声フィードバック、あるいは、RS232C シリアルポート通信による外部機器の制御などを行うことができる。通信速度は、0~19200 ボーマドを選択する。メモリ内部のプログラムを変更することにより、様々な外部機器の制御に対応することができる。

4. 応用例

本プロトタイプシステムを利用して実現できる応用について、いくつかの例を以下に示す。

4.1 装着型伝言システム

家電品などを操作することで複数のユーザ間での情報交換を行うことができる(図8(a))。情報を持った計算機自体を Post-ItTM のように実世界に貼り付ける。本システムに映像や音声の小型の記録装置などを接続することにより、家電品のUIの操作をトリガとした映像や音声の記録と再生を行うことができる。部屋の電灯スイッチのLED表示部分に本システムを装着し

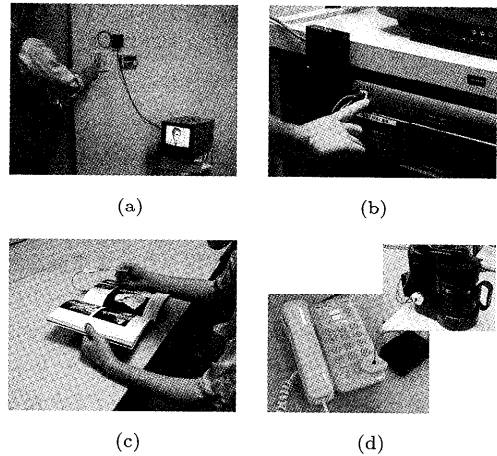


図8 応用例：(a) 装着型伝言システム；(b) 装着型オンラインヘルプ；(c) 装着型しおり；(d) 障害者支援システム

Fig. 8 Example of applications: (a) attachable message board; (b) attachable help system; (c) attachable bookmark; (d) aid for disabled people.

て、VISCA (Video System Control Architecture) によるシリアル接続可能な8mmビデオ装置 (Sony CVD-1000) の録画・再生を制御することにより、部屋に入ってくるユーザ間での部屋の使用予約状況や会議の議事録といった非同期的な情報交換が可能である。

4.2 装着型オンラインヘルプ

家電品操作のためのヘルプやガイド機能を持たせることができる(図8(b))。複雑化した機器の操作パネルなどにヘルプやガイド情報を付加することにより、機器UI上での操作をトリガとした情報提示を行える。本システムと小型のビデオ機器やICレコーダと接続して、家電品のボタンなどに操作に関する情報を付加しておくことにより、直接的な操作によるヘルプ情報の再現が可能である。ビデオデッキの電源スイッチやLCDパネルに本システムを装着して、シリアル接続可能な8mmビデオ装置に予約録画に関する手順や方法をビデオで記録する。ユーザがビデオデッキを操作することにより、本システムが操作手順・方法を記録した8mmビデオ装置の再生を開始する。ユーザはビデオデッキの操作を実際に行いながら、その機器に関する操作ガイド情報を得ることができる。

4.3 装着型しおり

本システムと小型ICレコーダなどを利用することにより、家電品のみでなく実世界の道具にも情報の記録機能を付加することができる(図8(c))。たとえば、本のしおりなどに本システムを装着して、メモなどを残しておくことにより、本を開いたときに以前読んでいたときのメモを聞いたりすることができる。フォト

センサ部分をしおりに装着し、本が閉じている場合と開いている場合での相対的な明暗変化を識別することにより、本応用システムが実現できる。このように本アプローチでは、家電品のみでなく、エンドユーザの発想次第で実世界の道具などに装着するなどの様々な応用が可能であると考えている。

4.4 障害者支援システム

本システムにより視覚的に表現された家電品などのUIによる出力を聴覚的な情報に変換することにより、全盲あるいは弱視の人のための視覚障害者生活支援システムを構成することができる(図8(d))。たとえば、視覚障害者ユーザの場合、電熱器などのUIに本システムを装着することにより、現在電源が入っているのかといった状態を音声などに変換して知覚することができる。電熱器の電源スイッチ部分に本システムを装着し、スイッチの状態変化に従って、圧電ブザーを発振させる。将来的には、フィードバック機能を拡張して電話などに本システムを装着することにより、聴くことが困難な高齢者ユーザのために、呼出音を増幅するか、あるいは、別のモダリティに変換するといった応用も期待できる。

5. 評価

試作したプロトタイプシステムを用いてシステムの評価を行った。評価には、被験者による家電品への装着実験による試用評価と使用感について測定した。

実験では、被験者に本システムを実際に家電品のUIに装着してもらい、操作時間とセンサ部の認識率について測定した。実験手順は、まず、本システムをビデオ機器パネルに装着し、本システムを起動させる。次に、ビデオ機器パネルを操作し、本システムが動作することを確認した。システムの装着から動作確認までを1つのプロセスとして操作時間と認識動作に関して計測した。実験は各被験者について3回の試行を行った。また、実験後に5段階評価のアンケートによる主観評価を行った。被験者は7人の大学生、大学院生である。

実験結果としては、操作時間は16.91秒($\sigma=5.02$)であり、すべての被験者が実験を完了できた。操作時間の個人差については、5%の有意水準の基で検定したところ、7人のうち2人が有意となった。これは、この2人の被験者が他の被験者よりも操作時間が短かったことからであり、操作上の問題は認められなかった。残りの5人については、個人差は認められなかった。また、認識率については、合計21回の試行のうち4回で粘着パッドによる装着が不十分なために認識エラー

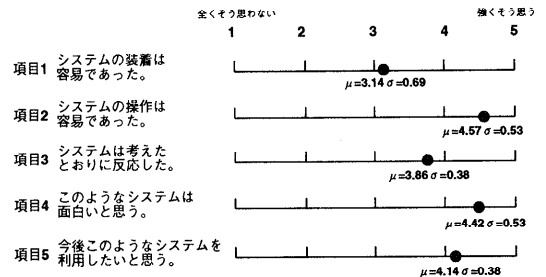


図9 アンケートの結果

Fig. 9 Result of questionnaire.

となった(認識率約81%)。本システムの起動操作と機器操作の手順を誤った試行が全試行のうち1回あった。

図9にアンケートによる主観評価の結果を示す。この結果、本プロトタイプシステムの操作に関しておおむね良好な結果を得ることができたといえる。ただし、装着の容易さ(項目1)については、粘着パッドによりセンサ部分を装着できないケースもあったことから、主観評価でも他の項目に比較して低い結果となった。

6. 考察

6.1 評価に対する考察

実験結果から、全体的な操作に関しては、すべての被験者が操作を行うことができた。個人差により操作が困難な被験者も観察されなかった。また、本システムは比較的ローコストな実現が可能であり、計算機システムを内部に組み込むアプローチよりも実用性が高い。

現状のシステムでは、ゲル状の粘着パッドを利用してセンサ部分をUI面に装着しているが、粘着力が不十分なため、センサ部分が正しく接地できない場合がある。これに対しては、ワイヤレス赤外線通信⁶⁾などを利用して、センサ部分と計算機部分を物理的に離すことが考えられる。

アンケートの主観評価の項目5, 6の結果から、ほぼすべての被験者が「面白い」あるいは、「今後利用したい」と判断している。これは、本研究で提案するような家電品への装着型コンピュータのアプローチの可能性を示唆している。項目6で4段階以上の回答をした被験者については今後何に利用できるかという自由記入の項目を設けた。これに対しては、以下のような応用例が得られた。

- LEDが見にくいので音声化して留守番電話への伝言の有無の確認がしたい。
- 目覚しラジオの電源で、コーヒーが入るようにしたい。
- ビデオデッキに装着して、予約方法を母のために

メモしたい。

ここにあげた被験者の考えた応用例のように、本アプローチではエンドユーザの創意次第で様々な応用が期待できる。現状のプロトタイプシステムでは、圧電ブザーによるビーブ音再生と、シリアルポートによる通信機能が実現されているが、モータやアクチュエータのように能動的なデバイスを制御できるようにすることにより、上述のような応用の実現も可能である。

6.2 関連研究との比較

Ubiquitous computer のアプローチでは、計算機が埋め込まれた情報機器環境を提案している¹⁸⁾。TRON プロジェクトにおいても電脳住宅、電脳都市などのコンセプトで家電品などに計算機を組み込んだ環境を提案している¹⁵⁾。また、Ishii ら⁵⁾は身の周りのものにセンサ類を埋め込んだ周辺状況を利用したインタラクションを提案している。我々のアプローチでは、人工物の中にセンサや計算能力を持ったデバイスを埋め込まずに、装着するという形をとっている。これにより、実世界のどこに情報があるのかが明示的になり、埋め込み型の手法のようにどこがインタラクションのトリガとなるのかが分からなくなるといった問題を少なくできると考える。

歴本ら^{13),14)}はカメラ映像からのバーコード認識技術を利用した拡張現実感の手法を提案している。小型モニタを利用した実世界の映像と計算機情報の視覚的な重畳を利用することにより、実世界指向インタフェースにおける有効な情報検索が可能である。我々のアプローチでは、バーコードのように間接的なマーキングによる状況認識手法を利用せず、計算機自体を実世界に装着することで状況を認識しているといえる。これにより、ユーザは符合化を行わずに、直接小型計算機をプログラミングすることにより、実世界の状況認識を利用した情報操作が可能になる。

MIT の Wearable Computer Project では、ユーザ自身が計算機を装着する手法が提案されている¹⁷⁾。また、Fukumoto ら²⁾は指に装着する入力デバイスを提案している。モバイル環境におけるユーザ側の情報操作機器と我々の提案する実世界の家電品上の装着型コンピュータがやりとりをすることにより、より有効な情報操作とユーザの生活支援が行えると考える。

Talking Sign では、赤外線標識を利用して視覚障害者が識別できる標識や看板について提案している¹⁾。これらのシステムに本アプローチのような実世界の家電品などの人工物の状態によって動作する計算機を応用することで、状況に応じて変化するような標識による障害者支援環境の実現が期待できる。

7. む す び

本論文では、家電品などの UI に装着して利用する超小型計算機 “Attachable Computer” のコンセプトとハードウェアによるプロトタイプシステムの試作およびシステムで動作する応用例について報告した。Attachable Computer は家電品の UI 上に直接装着し、その家電品の UI 操作をトリガとした小型の計算機サブシステムである。家電品の UI に着目することにより、計算機初心者や高齢者といったユーザでも情報操作が可能になることが期待できる。また、プロトタイプシステムの評価実験を行い、連続待受時間と消費電力に関して十分実用に耐える結果を得た。被験者による試用評価についても、センサ部分の装着が不十分であるという問題があったが、操作に関しておおむね良好な結果を得た。アンケートの結果からも、本アプローチはエンドユーザ自身の創案による新しい応用の広がりがあることを示唆している。

今後は、アクチュエータなどの能動型デバイスをフィードバック部分に組み込み、無線による複数の装着型コンピュータ間の通信を行えるようにする予定である。

謝辞 プロトタイプシステムの試作に関してご協力いただいた伊藤英一氏（神奈川県総合リハビリテーションセンター、現スタンフォード大学）に深く感謝申し上げます。また、実験にご協力いただいた被験者の方々に深く感謝する。

参 考 文 献

- 1) Brabyn, L. and Brabyn, J.: An Evaluation of Talking Signs for the Blind, *Human Factors*, Vol.25, No.1, pp.49-53 (1983).
- 2) Fukumoto, M. and Tonomura, Y.: Body Coupled FingerRing: Wireless Wearable Keyboard, *Proc. CHI'97*, pp.147-154, ACM (1997).
- 3) 伊賀聡一郎, 安村通見: Attachable Computer: 日常家電品の機能を拡張する装着型インタフェースの提案, 情報処理学会研究報告 98-HI-76 Vol.98, No.9, pp.67-72 (1998).
- 4) Iga, S., Itoh, E., Higuchi, F. and Yasumura, M.: Attachable Computer: Augmentation of Electric Household Appliances by Fit-up Computer, *Proc. APCHI'98*, pp.51-56 (1998).
- 5) Ishii, H. and Ullmer, B.: Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms, *Proc. CHI'97*, pp.234-241, ACM (1997).
- 6) Kahn, J.M. and Barry, J.R.: Wireless Infrared Communications, *Proc. the IEEE*, Vol.85, No.2,

- pp.265-298 (1997).
- 7) 木村朝子, 加藤博一, 井口征士: 携帯端末からの家電製品制御とそのインタフェース, 第13回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp.321-326 (1997).
 - 8) Kuchinomachi, Y., et al.: The Relationship Between the Usability of Daily Electric Appliances and the Deterioration in Cognitive Function of Old People, *Proc. 13th Triennial Congress of the International Ergonomics Association*, Vol.5, pp.591-593 (1997).
 - 9) 日経エレクトロニクス: 特集「コネクテッドホーム」, 10-6, No.700, pp.101-170, 日経 BP 社 (1997).
 - 10) Norman, D.A.: *The Psychology of Everyday Things*, Basic Books Inc., New York (1988).
 - 11) Norman, D.A.: *Things that make us smart*, Addison-Wesley (1993).
 - 12) Parker, J.R.: *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*, John Wiley & Sons (1997).
 - 13) Rekimoto, J. and Nagao, K.: The World through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments, *Proc. Eighth Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'95)*, pp.29-36, ACM (1995).
 - 14) 暦本純一: 2次元マトリックスコードを利用した拡張現実感の構成手法, インタラクティブシステムとソフトウェア IV (日本ソフトウェア科学会 WISS'96), pp.199-208, 近代科学社 (1996).
 - 15) 坂村 健: TRON プロジェクト. <http://tron.um.u-tokyo.ac.jp/TRON/> など
 - 16) Shneiderman, B.: *Designing the User Interface*, 2nd ed., Addison-Wesley (1992).
 - 17) Starner, T., Rhodes, B., Healey, J., Russel, K.B. Levine, J. and Pentland, A.: *Wearable Computing and Augmented Reality*, MIT Media Lab Technical Report, No.355 (1995).
 - 18) Weiser, M.: Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing, *Comm. ACM*, Vol.36, No.7, pp.75-84, ACM (1993).
 - 19) 安村通晃, 伊賀聡一郎: マルチメディアからマルチモーダルインターフェイスへ, インタラクティブシステムとソフトウェア I (日本ソフトウェア科学会 WISS'93), pp.185-192, 近代科学社 (1993).
(平成 10 年 5 月 28 日受付)
(平成 10 年 12 月 7 日採録)



伊賀聡一郎 (学生会員)

1995 年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士課程修了。同大学院博士課程在学中。インタラクティブシステム, インタラクティブアート, デザイン, 音楽等に関心を持つ。ヒューマンインタフェース学会会員。



安村 通晃 (正会員)

1947 年生。1971 年東京大学理学部物理学科卒業。1975~1977 年 UCLA 留学。1978 年東京大学理学系大学院博士課程 (情報科学専攻) 満了。(株) 日立製作所中央研究所主任研究員を経て, 1990 年 4 月より慶應義塾大学環境情報学部助教授。現在, 同教授。理学博士。ベクトルコンパイラ, Lisp 処理系, マルチモーダルインタラクション等の研究に従事, プログラミングシステム, 並列ソフトウェア, 実世界指向インタフェース等に関心を持つ。日本ソフトウェア科学会, 日本認知科学会, 日本教育工学会, ヒューマンインタフェース学会, ACM, IEEE Computer Society 各会員。