

「飛ぶコンピュータ」の実現に向けて

塚本 昌彦[†] 松坂 敬太郎[‡]

[†] 神戸大学工学部電気電子工学科
〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1

[‡] ヒロボー株式会社 ヒロボー電機株式会社
〒726-8614 広島県府中市本山町530-214

コンピュータが小型化、高性能化し、コンピュータを実空間のなかのさまざまなものに埋め込んで使うユビキタスコンピューティングが現実的になってきた。ユビキタスコンピュータの次のステップは「飛ぶコンピュータ」である。センサやカメラ、マイクやスピーカ、LED、ディスプレイなどをそなえた小型のコンピュータが空中を自由に動き回れるようになれば、災害救助、気象観察、設備点検、安全巡視、その他あらゆる実世界での人々の活動において有効に活用できる。本稿では、超小型ヘリと超小型コンピュータを融合した「飛ぶコンピュータ」の構想と、それに向けての筆者らのグループによる取り組みについて述べる。

キーワード: ユビキタスコンピューティング, センサネットワーク, 自律飛行, ヘリコプタ

Toward Realization of “Flying Computers”

Masahiko Tsukamoto[†] Keitaro Matsusaka[‡]

[†] Department of Electrical and Electronics Engineering
Faculty of Engineering, Kobe University
〒657-8501 Rokkodai, Nada-ku, Kobe-city, Hyogo-pref, 657-8501 Japan

[‡] Hirobo Limited & Hirobo Electric Corporation
Motoyama-cho, Fuchu-shi, Hiroshima-pref., 726-8614 Japan

As computers became smaller, ubiquitous computing where they are embedded in many objects and are used in the real world becomes realistic. We consider the the next step of ubiquitous computers is “flying computers.” If a small computer equipping with sensors, camera, microphones, speakers, LEDs, or displays, can fly in the air at will, it can support variety kinds of human activities such as rescue, observation, inspection, and patrol. In this paper, we introduce the notion of “flying computers” which combines very small helicopters and very small computers, and show the activities of our group toward realizing it.

Keywords: ubiquitous computing, sensor network, autonomous flight, helicopter

1. はじめに

1903年、人は初めて空を飛んだ。ライト兄弟による人類初の動力飛行である。果てしなく広がる大空を自由に飛びまわりたいということは長年の人類の夢であったが、それが実現してまだ100年余り。その間人類はこの航空技術をさらに発展させた。空中を高速に移動する航空機を用いて、人や物を数時間で海を越えて世界中のあらゆる場所の間で流通させることができる。また、空中に自由に動きまわれるヘリコプタは、人命救助や警察、報道など人の行動範囲を空中にまで広めることで人々のさまざまな活動を支援してきた。一方、この高度な飛行技術を軍事という人を傷つける目的にも活用してきたことは残念であるが、それはまた飛行技術、飛行物体の持つ高いポテンシャルを示すものともいえる。そして今、航空機はむしろ見知らぬ地の冒険ではなく、世界をまたに駆けて走り回るビジネスマンの高速な移動手段として、あるいは短いバカンスを普段とは異なる空気の中で送る人たちのために使われている。

一方、空中停止（ホバリング）や空中での自由度の高い移動ができるヘリコプタは産業用として注目されている。特に小型で無人のものは応用範囲が広く、農薬散布や空中撮影などにすでに利用されている。ヒロボ-（株）では平成13年に千葉大学工学部野波研究室と共同で、小型無人ヘリに搭載可能な小型高性能な自律航行装置と自律制御飛行技術の開発を行った[1]。さらにその制御技術を利用して、設備保全点検・監視や災害状況把握などの作業の軽減や業務効率化への実用をめざして、平成14年より経済産業省の産学官連携による地域産業新生コンソーシアムを立ち上げた。このプロジェクトでは、自律飛行型無人ヘリにカメラやセンサを搭載し、空中から精細情報を取得し手元のモニターで点検監視を行うという、空中遠隔モニタリングシステムを開発した。ヒロボ-のプロジェクト以外にも、コンピュータを利用したヘリや飛行船などによる自律飛行については現在高い注目を受けており[2,3]、近い将来、民生応用も含めて広く利用されるようになっていくものと考えられる。また、モータやバッテリー性能の向上に伴いヘリのいっそうの小型化が可能になりつつあり、応用範囲もさらに広がるものと考えられている。小型になればなるほどヘリの外乱などによる要因が大きくなり安定性が低くなるため、コンピュータ制御が必須のものとなる。小型ヘリにコンピュータ機器を搭載するという方向性は今後必須のものとなっていく可能性がある。そのような小型ヘリの一例として、ヒロボ-（株）のインドア用ラジコンヘリXRBは全備重量170gであるが、ラダー制御には電子制御の技術が導入されている[4]。さらに小型化するためには、モータ、バッテリー、電子制御の技術の進展が必要とされる。

空を制することで空間を自由に移動できる。「高さ」という空間の軸を自由に利用できる。空を飛べない人間にとって、実空間にあるさまざまな情報を見たり、聞いたり、あるいはその他の手段で取得する上で、移動上の制約が少ないことはその活用範囲が非常に広がるということである。移動する人やものを追跡することもできる。火口や災害現場、鉄塔の上などのような人が行けない場所にも行ける。この空間移動の自由度は、すでに無人ヘリが活用されている、災害救助、気象観測、設備点検、安全巡視、映像撮影などの用途だけでなく、情報管理、情報伝達、物品移動、物品探索、歩行支援その他あらゆる実世界での人々の活動において有用である。記念写真撮影やジョギング支援、スポーツ観戦、実世界ゲームなど、エンターテインメント系のアプリケーションも考えられる。このように無人ヘリが小型・軽量化すれば、より広範な利用が可能となり、従来のような専用システムではなく汎用のアプリケーションプラットフォームが必要となる。

本稿ではこのようなことを実現する小型のコンピュータ搭載ヘリコプタを、情報処理の側面により焦点をあてて「飛ぶコンピュータ」と呼ぶ。本稿ではその方向性と応用、将来展望などについて述べる。

2. ユビキタスコンピュータから「飛ぶコンピュータ」へ

1946年、コンピュータが生まれた。真空管 18,800 本、リレー 1,500 個からなる世界初の電子計算機 ENIAC である。その後、1950、60 年代には国家プロジェクトなどによりいくつもの大型コンピュータが作られた。これらのコンピュータは、一般に部屋全体を占めるような巨大なものであり、国家や世界規模の目的、すなわち軍事・科学技術計算に使っていた。1970、80 年代にはデスクトップコンピュータと呼ばれるそれまでよりも小型のコンピュータが生まれ、コンピュータは机の上に置かれるなどして、企業会計や文書作成に使われた。1990 年代になると持ち運べるモバイルコンピュータが出現し、ユーザはコンピュータをカバンに入れて持ち運べるようになった。モバイルコンピュータは、WWW、メール、プレゼンなどの個人タスクに主として使われるようになった。1990 年代後半から 2000 年代にはコンピュータはさらに小型になった。「携帯電話」は通話よりデータ通信のために使われ、さまざまなアプリケーションを搭載する汎用コンピュータである。iPod をはじめとする音楽プレーヤーやデジカメも含め、ポケット型モバイル家電は、いずれも小型化された汎用コンピュータであるとみなすことができる。これらの小型コンピュータの用途も、これまでと同様大きく変わることとなった。占いやミニゲームなどの暇つぶしやコミュニケーション、音楽や映像のようなエンターテインメントといった新しい分野の誕生である。このように、これまでコンピュータのサイズが変わるたびに、それまでには考えられないような新しい用途が出現し、新しい産業、ビジネスが立ち上がっている。コンピュータはそもそも情報処理をする機器であり、その大きさに応じて使われる場所が変わる。どのような場所でも有用性が発揮できてきたという点が重要である。

これからコンピュータはさらに小さくなり、豆粒大、ゴマ粒大にまで小さくなるものと考えられている。このような超小型のコンピュータはユビキタスコンピュータと呼ばれ、ユビキタスコンピュータを利用することはユビキタスコンピューティングと呼ばれている。これから 5 年から 10 年の大きな変革方向として多くの研究機関、企業、行政機関などで、現在研究開発が進められている。これまでのコンピュータの利用方法の変遷を見れば明らかのように、それらのコンピュータはこれまでとは違う目的に使われるようになる。コンピュータはあらゆる物や場所に埋め込まれ、実世界の中で人々のくらしや仕事を直接サポートするような使われ方をされるようになる[5]。

実世界で使われるユビキタスコンピュータには、以下のようなさまざまな形態が考えられる。

- ・ 物に埋め込むコンピュータ。IC タグが流通や在庫管理、物品管理の分野で広く利用されるようになってきている。IC タグは近い将来高性能、高機能になる。特にセンサ入りのものやデータ蓄積・処理が行えるもの、自律的に動作ができるものなどへの発展が有望である。おそらくここ数年で IC タグは急速に展開し、高性能なものも広まっていくと考えられる。
- ・ 場所に据え置くコンピュータ。スーパー、コンビニのレジから、インターネットカフェの街角情報端末、無線の基地局、改札機などのような据え置き型 IC タグリーダ、街角監視カメラまで、すでにさまざまな据え置き型情報機器がある。今後は棚、扉、家電、机、いす、壁、道路までありとあらゆる場所にさまざまな情報機器が据え置かれるだろう。陳列棚などで業務用に使われるようになるまで数年、家庭の机やいすにまで展開するのに 10 年ぐらいのスパンを考えるのがよいだろう。
- ・ 着るコンピュータ(wearable computer)[6,7]。人が体に装着して利用するコンピュータ。典型的には、頭に HMD(head mounted display)、腰にパソコン本体を装着し、手元にハンディ入力デバイスを持つというスタイルがとられるが、デバイスはもっと小型になり服やベルト、めがねなどに埋め込まれるようになる。パソコンよりもむしろ携帯、デジカメ、音楽プレーヤーなどがウェアラブル型になったものの方が近いうちに実用化、展開する可能

性が高い。さらに、街角で発信されるユビキタス情報の受信，地上波デジタル放送の受信，ビジュアルコミュニケーションなどの応用も考えられ，数年以内に実用化するものと考えられている。

- ・ 歩くコンピュータ。カメラなどを備えて自律走行できるコンピュータのことで，自律移動ロボットとはほぼ同義である。近年のロボット技術の進展により 5 年ぐらいのスパンで屋内用や産業用などある程度実用化されるものと考えられる。産業用ロボット，掃除ロボット，ペットロボットあたりから始まり，センサやカメラ，ネットなどの機能が付加されることが想定される。自律走行することでカメラやセンサを用いた情報収集や，無線通信やスピーカ，ディスプレイを用いた情報配布，人とのコミュニケーションなどの新しい応用が可能となる一方，自律走行においては障害物などのさまざまな物理的制約があり屋外などの広い範囲で利用することは難しい。街角をロボットが歩行する状況には夢があるが，それに対する需要と安全性を考えると 10 年スパンでは現実的な展開は難しいかもしれない。
- ・ 食べるコンピュータ。飲用の胃カメラはすでに実験レベルで開発されている。医療用マイクロマシン技術が進展すれば，さらに綿密な検査や治療自体が行えるようになる可能性がある。応用は医療分野以外には考えにくく汎用性はあまり必要がないかもしれないという意味で，汎用コンピュータとしての要求事項は少ない。特定用途の機器を除いて実用化へのスパンも長く，おそらく 20 年ぐらいのレンジでの展開が考えられる。
- ・ 飛ぶコンピュータ(flying computer)。センサやカメラをあちこちにばら撒き情報収集するというコンピューティングについては米 Smart Dust プロジェクト[8]で唱えられたが，個々の情報機器が自律飛行できるようになるとさらに応用は広がる。数十センチのものから 1 ミリ以下のものまでさまざまなサイズのものが考えられるが，それぞれ異なる応用分野が考えられる。セキュリティ分野や高齢者の生活パートナーとしての利用方法，環境センシング・モニタリング，軍事・防衛産業などである。そのため汎用性も重要となる。「歩くコンピュータ」と比べて空中を飛行する「飛ぶコンピュータ」は，障害物などの物理的制約が少ないことが考えられ，実用化は急に進む可能性がある。ここ数年，小型電動ヘリの技術が急速に発展しており，技術的可能性としては，数十センチの小型のものだと数年，さらに小型のものに関しては 5 年から 15 年ぐらいのスパンでの展開が考えられる。

以上のように「飛ぶコンピュータ」はユビキタスコンピュータの一形態である。空を飛ぶことができない人間にとって，飛ぶコンピュータが実現されればさまざまな点で人にできないことを代わりにしてくれるものとして有用であることが想定される。

3. 「飛ぶコンピュータ」の概要

「飛ぶコンピュータ」とは飛行機能を備えたコンピュータのことをいう。自律飛行型ロボットは飛行物体側に必ずしもコンピュータ機能を備えているとは限らないという点と，より情報処理の側面を強調するという点で異なる。2 章で述べたように広範な用途を考えると，汎用のハードウェアアーキテクチャとソフトプラットフォームを持つことが必要となる。またそれは機器の大きさによっても異なる部分がある。大きさとしては以下のような段階を想定する。

- ・ 50cm 以上の大型飛行コンピュータ
- ・ 10cm～50cm 程度の中型飛行コンピュータ
- ・ 5cm～10cm の小型飛行コンピュータ，あるいは伝書鳩コンピュータ
- ・ 1cm 以下の超小型飛行コンピュータ，あるいは昆虫コンピュータ
- ・ 1mm 以下の微細コンピュータ，あるいはダストコンピュータ

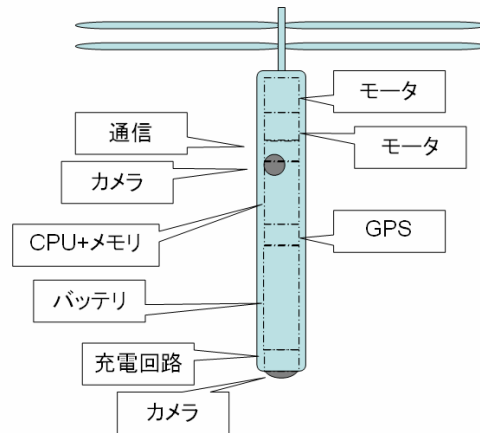


図1. 飛ぶコンピュータのイメージ(一例)*

大型、中型のものは現行のラジコンヘリなどとパソコンを組み合わせることで実現できるが、現状ではそのためのソフトウェアプラットフォームが不十分であると同時に、重量や価格、安全性などの観点から気軽には使いにくいという問題がある。本稿でむしろ10cm以下の小型のものに重点を置く。現状では、モータ、バッテリー、制御などの問題があり10cm以下の小型ヘリを作るのは難しいとされるが、前節でも述べたように近年の急速な技術進展によりダスト型でも15年ぐらいのスパンで実現できるようになる可能性があるものと考えている。何度か指摘しているように、飛ぶコンピュータは大きさにより用途は異なり、それぞれの大きさに応じて例えば次のような用途が重要になるだろう。

- ・ 大型、中型コンピュータは物品、物資の運搬、散布
- ・ 小型コンピュータは人のサポートや撮影
- ・ 超小型、微細コンピュータは情報センシング、モニタリング

具体的な機器全体像のイメージの一例を図1に示す。ここでは同軸反転方式を想定し、2重のブレードを描いている。同軸反転方式は、テールロータがないため小型化ができる、水平状態でホバリングできる、ラダー旋回がスムーズにできる、エネルギー効率がよいというメリットを持つ。テールロータ式と比べて高速飛行やスタント性能は劣るものの、安定したホバリングや正確な動き、そして安全性を追求したほうがトータルとして考えた場合有利であるとの観点から飛ぶコンピュータのイメージに適している。このようなイメージのほかにも、昆虫や鳥の動きを模したはばたき型[9]や、本体側も回転する円盤型などのほかの形態も考えられる。

この図では、本体内部にモータや制御回路、バッテリーのほか、CPU、メモリ、通信機能、カメラ、GPSなどを搭載している。カメラは本体側部と底部についており、真下と周辺の両方の状況を観測できるようにしている。バッテリーと充電回路が下部にあるのは、このままの姿勢で充電することを想定するためである。これら以外にも各種センサやLED、スピーカなどを搭載することが考えられる。

図1のハードウェア上で動作させることを想定するソフトウェア構造例を図2に示す。さまざまなハードウェアを制御する部分と位置制御、画像認識を行う部分がある。通信部とデータベース部も含めて実行制御部で全体の動作の管理を行う。実行制御部内には基本制御ルールを

* 注：本図は概念図であり実際に飛行可能な機構を示すものではない。

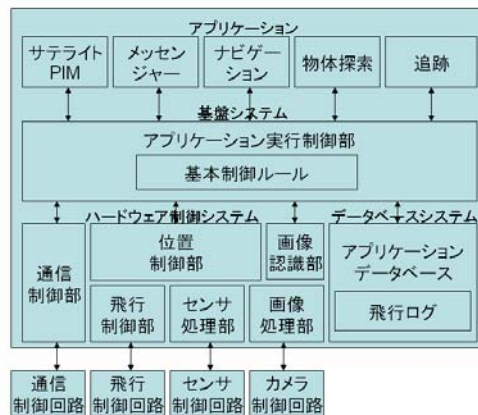


図2. ソフトウェア構造例

格納でき、外部からの各種イベントに対して優先的かつ瞬間的に機器が動作できるようにすることを想定している。このようなルールベースのエンジンを保持していることは、ユビキタスコンピューティング全般で有用であることが示されている[10]。データベース部には各種アプリケーションで利用するデータベースを格納すると同時に、位置制御部、画像認識部と直結して飛行ログをとることができるようになっている。実行制御部では共通のシステム制御用のインタフェースをアプリケーションに提供することを想定しており、基本的に「いつでもどこへ行って何をやる」といった形態の記述を容易にする。

標準的なアプリケーションとしては次のようなものを想定する。

- ・ サテライト PIM(satellite personal information manager). ユーザのスケジュールやアドレス帳などの情報を管理し、決まった時刻に飛び回ってアラートを出したり、決まった時間に撮影したり、ユーザの行動に合わせて機能を変更するなどということを行う。
- ・ メッセンジャー(messenger). 人や場所を指定してメッセージを届ける。メッセージは音声であったり、電子データであったり、映像であったりする。行き先で音声や映像を直接再生する場合もあれば、データ通信により手渡す場合もある。インターネットが使えない場合やインターネットが信頼できない場合に有用である。
- ・ ナビゲーション(navigation). ユーザやユーザの指定する人を目的地まで誘導する。GPS やセンサなどを使って飛ぶコンピュータ側が位置や経路を把握していることを前提とする。
- ・ 物体探索(object search). 指定された範囲内で物体を探す。色や形を指定してカメラ映像と画像処理で探索する場合もあれば、IC タグやセンサ、通信などを利用して探す場合も考えられる。
- ・ 物体追跡(object tracking). カメラ映像やセンサ情報を使って物体や人を追跡する。

これらに加え、以下のようなアプリケーションも有用である。

- ・ 位置探索(location identification). GPS やセンサなどを用いて位置情報を把握する方法が数多く研究、開発されているが、飛ぶコンピュータを用いれば、位置情報が把握できない場合に周囲で位置情報を把握できる場所を探してそこからの飛行データをベースに位置を推定することができる。
- ・ パトロール(patrol). 決められた場所を巡回する。
- ・ 群制御(fleet management). 他の飛ぶコンピュータと一体となって行動する。誘導と撮影、録音などの役割分担をしながら複数の飛ぶコンピュータが飛行する、電波が届かない場所

表1. 飛ぶコンピュータコマンドの一例(一部)

飛行制御	停止, 上昇・下降, 前進・後退, 右移動・左移動, 右旋回・左旋回, 位置情報に基づく移動, 飛行制御モードの設定
センサ・カメラ制御	データ取得・撮影, ID 検出, マーカ検出, 顔検出, 障害検出, 形状認識, その他の特定現象の検出, 追跡
通信制御	データ送受信, 中継, ルート設定, 同期, ストリーミング, 通信パラメタの設定
ルール制御	ルール設定, ルールの有効化・無効化, イベント設定
データベース制御	データ追加, 削除, 変更, データスキーマの設定, 変更, 飛行ログの設定
その他	タイマ管理, バッテリ管理, 各種設定

までたくさんの飛ぶコンピュータが一定間隔で列を作って通信の中継をする, ショーなどで LED をつけた複数の飛ぶコンピュータが全体として模様を作り出すなどの応用が考えられる。

これらのアプリケーションの動作を切り分ける上で以下の飛行制御モードを考えることが有用であろう。

- ・ 追跡(follow-me/follow-it)モード. ユーザやある物体, 人などを追跡する.
- ・ 自律動作(autonomous)モード. 内部のプログラムで動作を完全に制御する.
- ・ 遠隔操作(remote control)モード. インターネットや携帯電話を介して遠隔からユーザが制御する.
- ・ 現場操作(local control)モード. リモコンで操縦している状況と同様, 現場でユーザが制御する.
- ・ 群制御(fleet management)モード. 他の飛ぶコンピュータを制御するサーバモードか, 他に制御されるクライアントモード, それぞれが対等に振舞う自律モードの3種類のモードが考えられる.

アプリケーション実行部に備えるコマンドとして想定されるものの一例(一部)を表1に示す. これらはアプリケーションインタフェース(API)にも相当するものと考えられる. ハードウェアの動作に相当する低レベルのコマンドから, 機能を複合的に利用する高レベルのコマンドまでさまざまなコマンドが含まれている. アプリケーション制御部で管理する制御ルールとしては, 数バイト程度のものを想定しているが CPU 性能が高ければもっと複雑なものも考えられる.

アプリケーションのプログラミング言語としては, 広く用いられている C や BASIC をベースとすることが考えられるが, 物体の動作を記述するのに向いた LOGO や Smalltalk も有望である. 実世界における多岐に渡る活動を考えると, 対象や振る舞いの記述に優れたオブジェクト指向言語や推論やルール型エンジンのもととなる論理型言語を組み合わせた新規の言語が必要である.

必要な要素技術として, まず, 画像処理技術が挙げられる. 高速画像や回転画像の補正, 撮影画像の張り合わせ, 物体・人物認識・追跡のアルゴリズムなどを新規に開発する必要がある. システム・OS 技術としては, 開発環境, 言語, データベース, ユーザインタフェースなどが重要である. プログラミング言語に関しては前述のとおりであるが, ユーザインタフェースに関してはジェスチャコマンドや音声など, ウェアラブルインタフェース技術を利用できるかもしれない. 通信技術としては, センサネットワークで近年研究が進んでいるアドホック通信, ストリーム通信などの技術が必要である. 群制御のためには, ルーティング・中継のための移動, 物体・人物の群追跡, データ収集などの技術が必要である. 制御技術としては自律飛行制御, 協調飛行制御が重要である. 電源管理も非常に重要な要素であり, センサネットワークの場合の電源管理と違って飛行のためのクリティカルな電源管理が必要となる.

4. プロトタイプ

3章で示したような飛ぶコンピュータのイメージとアプリケーションを想定して、筆者らは飛ぶコンピュータの実現および応用の可能性を検証するための二つのプロトタイプシステムを開発した。ひとつは **XView** と呼ぶもので、カメラつきラジコンヘリを遠隔の PC により制御するシステムである。もうひとつは **XSign** と呼ぶもので、LED マトリックスと制御用基盤をヘリに搭載するものである。制御用基板上では簡易 **BASIC** のインタプリタが動作する。いずれも機体は **XRB** をベースとし、カメラおよび LED 基盤の電源はヘリの電源と共有した。重量が 30g~40g 程度増すものの、十分に制御できることを確認している。前者はカメラ制御による自律飛行が十分に可能であること、後者はヘリに搭載したマイコンでプログラム制御が可能であることを示したものと考えている。

5. おわりに

「飛ぶコンピュータ」の概念と応用を提案した。コンピュータが飛行できるようになることで、人にない能力を大幅に増強できるこれまでにない人々のサポートが可能となる。特に、ユーザを常に追跡しながらユーザの行動をサポートするという利用方法はウェアラブルコンピューティングの自然な延長であり重要な応用のひとつである。当面、携帯電話やデジカメ、電光表示、電波中継(ルータ、リピータ)への応用が有望であるものと考ええる。反面、テロや犯罪で利用されうるという可能性は深刻な問題であるため、飛ぶコンピュータの展開には文献[11]のようなガイドラインや法律の整備、技術的な面からの安全装置の開発などが必要である。諸般の事項を考慮しながら、今後の展開に向けてのステップを歩んでいきたい。

参考文献

- [1] <http://www.hirobo.co.jp/sec/skysurveyor.html>
- [2] <http://www.yamaha-motor.co.jp/product/sky/history/rmax-self/index.html>
- [3] 川村秀憲, 角田久雄, 山本雅人, 高谷敏彦, 大内東: ホバリング制御に基づくエンタテインメントバルーンロボットの開発, 知能・情報・ファジィ学会論文誌, Vol.17, No.2, pp.29-37 (2005)
- [4] <http://model.hirobo.co.jp/products/0301-901/>
- [5] 塚本昌彦: ウェアラブル・ユビキタスコンピューティング—超小型コンピュータと人, 物, 世界のシンビオシス—, 情報処理, Vol.47, No.8, pp.836-843 (2006)
- [6] 塚本昌彦, 板生知子: ウェアラブルコンピューティングとユビキタスサービス, オペレーションズ・リサーチ, Vol.49, No.4, pp.210-216 (2004)
- [7] 塚本昌彦: ウェアラブルコンピューティングによるコミュニケーション支援, 電子情報通信学会誌, 第 89 巻第 3 号 (2006)
- [8] <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/>
- [9] T. Terada, M. Tsukamoto, K. Hayakawa, T. Yoshihisa, Y. Kishino, S. Nishio, and A. Kashitani: Ubiquitous Chip: a Rule-based I/O Control Device for Ubiquitous Computing, Proc. of 2nd International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2004), pp. 238-253 (2004)
- [10] 菊池耕生: 小型はばたきロボットの実現をめざして, 日本流体力学会数値流体力学部門 Web 会誌, 第 12 巻第 3 号 (2005)
- [11] 産業用無人航空機安全基準「回転翼機・無人地帯用」, 日本産業用無人航空機協会, http://www.juav.org/contents/anzenkijun_heli.pdf