

センサ通信網端末としてのウェアラブル情報機器

板 生 清[†] 苗 村 潔[†]

近年、人間と自然と人工物の3極間のインタフェース技術が益々重要になってきた。本稿では、自然と人間、自然と人工物の関係を規定するネイチャーインタフェース技術に焦点を当て、この核となるセンサ通信システムを提案している。さらに、センサ通信端末をウェアラブル情報機器の一部として位置づけ、ヒューマンインタフェースに資する「時時計」、「腕時計サイズ光ナノメモリ」、「生体情報通信システム」などのコンセプトを提案している。次にネイチャーインタフェースに資する「ネイチャーインタフェイサー」というセンサ端末の概念を提案し、その構成とエネルギー消費ミニマムの設計指針を明らかにしている。

Concept of Sensor-based Wearable Communication Systems

KIYOSHI ITAO[†] KIYOSHI NAEMURA[†]

"Sensor-based communication" can be defined that automatically sensed analog information from nature, human beings and artifacts are converted into digital information, and processed based on a knowledge database and are transferred into network. Sensor-based communication will be core technology for nature interface (interface between nature and human beings or artifacts). A terminal of the sensor-based communication on the base of wearable information device technology can be positioned as a "nature interfacier". In order to develop some wearable information device, micro information technologies are important. In this paper, concept of a "space watch", a "watch-sized optical nano memory" and a "monitoring system for human healthcare", and "nature interfacier" are proposed.

1. まえがき

20世紀後半になって急速に製造されてきた人工物は、人間と自然に次ぐ第3の極として成長してきた。図1はこれを示す構図であり、3極間の相互作用をインタフェースとして表現した。これをとくに人工物の側から見れば、人工物は人間と自然という環境に囲まれた存在ということもできる。20世紀以前では、人工物は相対的に小さい存在であったため、図に示す人工物のサークルだけで閉じるのみで、他の2極への影響は極めて小さかった。しかし、これが大きく成長した今世紀においては、外部へ及ぼす影響も無視できな

くなり、図に示すようなインタフェースが大きな意味をもつようになった。つまり人工物から人間、自然へのマシンインタフェース、自然から人工物へのネイチャーインタフェース、人間から人工物へのヒューマンインタフェースが研究すべき対象として浮かび上がってきた。このような学問分野を人間・人工環境学と称すなら3つのインタフェースの科学・技術が情報通信技術をもって進められるべき状況になってきた。すなわち、自然系と人工物系の対峙する構造から、人間を緩衝体とした調和の構造に変革していくことが必要となってきた。ここに、人間にのみ資する従来のヒューマンインタフェース技術から自然環境保全に資する技術、すなわちネイチャーインタフェース技術へのパラダイム変換を強く提唱したい。

本稿ではネイチャーインタフェース技術の核となるセンサ通信システムのコンセプトを説明するとともに、

[†] 東京大学 大学院工学系研究科 精密機械工学専攻
Department of Precision Machinery Engineering,
The University of Tokyo

センサ通信端末としてウェアラブル情報機器を位置付け、ネイチャーインタフェイサーのコンセプトを提案する。

2. センサ通信システムのコンセプト提案

古典物理学の時代から現代物理学の時代に入り、量子力学をベースにした技術が発展し、情報技術の時代を迎えるに至った。まさに絶妙のタイミングで環境問題に対処する技術が生まれ、発展してきたと言える。

現在の考え方は人間中心で貫かれて、自然系とは全く別の世界に、図2-1のように人工物系である情報通信システムが構築されている。ここでは、膨大な自然の情報はセンシング技術の貧困さ等から、わずかしか取り入れられないシステムになっている。現在の科学技術では環境破壊の因果関係を十分解明するだけの力はなく、炭酸ガスの濃度と地球温暖化の関係すら未だ明示されていない。宇宙、地球、生物等が発生する情報は無尽蔵である。宇宙は、鼓動し、生物は常に活動している。これらの膨大な量の情報は生まれては消え、消えては生まれるが、ほとんど検知されることもなく、まして貯えられることもほとんどない。

これに対してここで提唱したいのは、自然の膨大な情報を取り込むことが可能な新しい情報通信システム「センサ通信システム」の構築である。図で表すと図2-2のようになり、多様なセンサ群による太い情報入力パイプをもつ情報システムで、自然の状態を深く広くモニターできるシステムである。このシステムでは図3のような自然情報のフィードバックを形成する。つまり、自然環境情報を検出し（情報検知）、大量伝送し（情報伝送）、超大容量の記憶装置に蓄積して（情報蓄積）、さらにデータベース化するとともに（情報検索）、必要に応じてこの情報を出力して環境破壊状態をオンラインで監視し、保全の対策を打てる（情報活用）という一連のループを描く。公害源を最小にし、リサイクルを徹底するという前提に立つ環境保全の基本に忠実なシステム開発を目指す。技術的には、多様なセンサ、超高密度のメモリ、超高速の情報伝送、高速検索・表示・印刷などの技術が求められ、総称して「情報マイクロシステム技術」という言葉を用いることとする。

ウェアラブル情報機器はセンサ通信網端末として位置づけられ、次節以降で詳細を述べる。

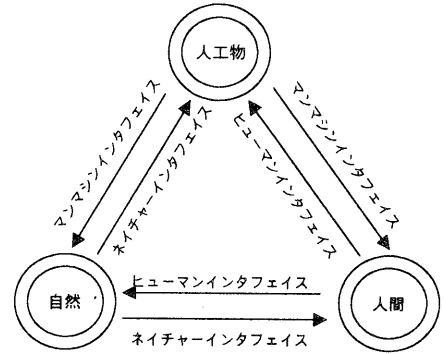


図1 自然・人間・人工物の関係

Fig.1 Relationship among nature, human beings and artifacts

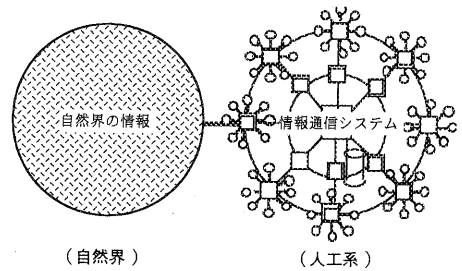


図2-1 ネットワークシステムの現状

Fig.2-1 Present status of network system

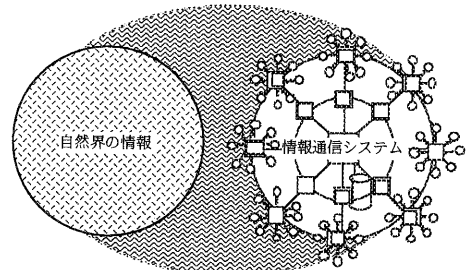


図2-2 センサ通信による環境ネットワークシステム

Fig.2-2 Environmental information network system realized by a sensor-based wearable communication

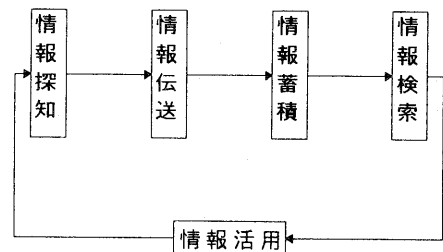


図3 自然情報のフィードバック

Fig.3 Feedback of nature information

3. ウェアラブル情報機器を創成する情報マイクロシステム技術

物理学の世界を振り返るとき、18世紀後半から始まった産業革命およびそれ以降の近代技術や産業に大きく影響を与えた科学はニュートン力学などの古典物理学であった。ニュートン力学は、人の目にみえるマクロの世界であり、エネルギー革新にその真価が発揮された。つまり人間の筋肉労働を蒸気機関、自動車、船、一般機械などで代替し、重厚長大産業を進展させてきた。しかし、これらの産業は資源を大量に消費することで成り立つため地球環境破壊につながった。

これに対し、20世紀前半にはほぼ確立した現代物理学、その中核となる量子力学は今世紀後半から21世紀に向かうハイテク革命を推進する科学である。これは分子、原子の超マイクロ世界の科学をかたちづくり、情報、エレクトロニクス、バイオ、新素材、マイクロマシンなどの先端技術を続々と開花させてきた。

このような技術の潮流の中で具体例としてのミニチュアリゼーションが展開されてきた。ミニチュアリゼーションの推進のためには「集積回路」、「集積機構」、「集積情報」の諸技術を深め、これを三位一体として捉え、融合化を図ることが求められる。このようにして微小化による高性能化、高機能化の実現と微小人工物の多数使用による新機能の実現が可能となりつつある¹⁾。図4にミニチュアリゼーションの典型例として情報機器の重量・体積の推移を示す。

今後このようなシナリオを現実のものとするためには、マイクロマシン技術に基づくマイクロメカトロニクス技術の発展が不可欠となることが明らかである。筆者が座長を務めたマイクロマシン技術の経済効果に関する調査研究会で、マイクロマシン技術をイノベーションの類型によって、図5のように分類した。まず、既成製品に対してマイクロマシン技術を導入またはマイクロマシン技術によって代替し、既存市場においてイノベーションをもたらす第1象限/第4象限をみてみよう。この領域に予測されるのは、計測/情報/自動車/ホビー用マイクロマシン技術である。イノベーションの発生の起源からさらに分類すれば、市場での成功を獲得するにはさらなる技術突破が必要な計測/ホビー用マイクロマシン技術が第1象限、的確な需要対応によって相対的に容易に市場形成が予測される情報用マイクロマシンが、第4象限に位置することになる。技術開発に関して幅広い選択が可能になる自動車用マイクロマシンは、第1/第4象限にまたがっており、

その製品市場が短期で立ち上がることが期待されている。次に、マイクロマシン技術が全く新しいコンセプトの製品を市場に提供する第2/第3象限をみてみよう。この領域に予測されるのは、SF的色彩をもったナノテクノロジーであり、治療のために人体の血管内を探索する”ミクロの決死圏”の世界である。現実的な見地からは、新しい科学的方法論の開発によって可能になるマイクロファクトリー(微小工場)が第2象限、また、関心が高まる医療用のマイクロマシンは、第2象限と第3象限の境界に位置することになる。さらに、新しい社会需要によって誘引され、非常に大きなインパクトを生む分野としてメンテナンス/環境対応マイクロマシンが考えられる。特に地球環境問題に関連しては、人工系と自然系の融合した新しい情報システムの構築による地球環境モニターが不可欠となる。このためには、各種のマイクロマシンセンサの開発によって自然界の状態検知および人工物の劣化情

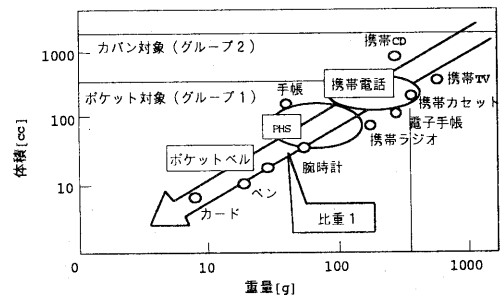


図4 携帯機のサイズと重量の分布 (立川ほか)¹⁾

Fig.4 Distribution of size and weight about portable device

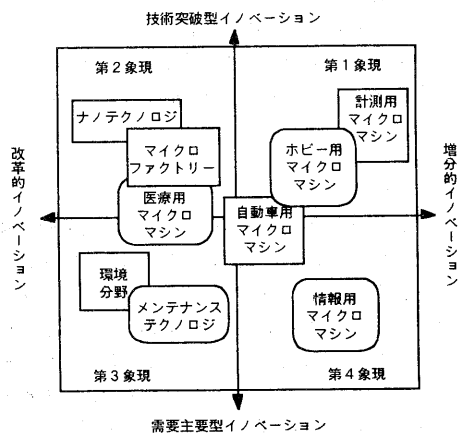


図5 マイクロマシンの類型化の試み¹⁾

Fig.5 Classification of the micromachine

報の予知などが重要となる。

図6に情報マイクロシステム技術の研究の流れを示し、次節にて情報マイクロシステム技術から創成されるウェアラブル情報機器の具体例を提案する。

4. ウェアラブル情報機器の提案^{4), 5)}

(1) 時空計

人間は時間と3次元空間を合わせた4次元の世界に住んでいる。このうち時間の計測手段については日時計のような大きさのものを腕時計にまで微小化して、ウェアラブル情報機器を実現した。しかし、時間以外の3次元空間の計測手段については、ようやくカーナビゲーションレベルの機器が開発されてきたが、まだ置時計以上の大きさがあり、腕時計までの小型化が達成されていない。ましてや、車と違って人間はGPS衛星をキャッチできない狭隘路、地下などに、ひんぱんに出入りすることを考えるとカーナビ技術以上のセンシング技術の開発が求められる。したがってGPS、地磁気センサ、傾斜センサ、ジャイロなどの計測手段とPHSなどの通信手段を一体化した空間計を実現して、時計と合体することが人類の長い歴史のうえにさらなる一歩を刻むことになろう。これはウェアラブルコンピューティングの時代に向けた微小情報機器へ向かうマイルストーンとなろう。図7に提唱する「時空計」のイメージを示す。ここでの3次元位置計測、すなわち“空計”の構成としては、ジャイロ、傾斜センサ、地磁気センサなどを併用することになるが、図8に示すように3次元マウス等、磁気ノイズの少ない環境の下での静的な計測であれば磁気センサと傾斜センサの併用で十分であるが、動的な計測にも対応するためにはジャイロ(3軸分)が必要である。ただし、このような究極的な姿が実現する前に過渡的には人体に広く分散させて、パーソナルネットワークの形態が実用化される。

(2) 腕時計サイズ光ナノメモリ

マルチメディア社会の進展に伴い、*高精細動画像をデジタル記録できる大容量メモリへの要求が高まっている。現在、4.7Gバイトクラスのデジタルパーサタイトルディスク(DVD)が実用期に入り、ここ数年は画像メモリの主流になるとされる。5~10年後には、ウェアラブルコンピュータが普及し、高精細動画像や3次元画像を扱うために腕時計サイズでテラビット級メモリが必要になると考える。図9にその概念

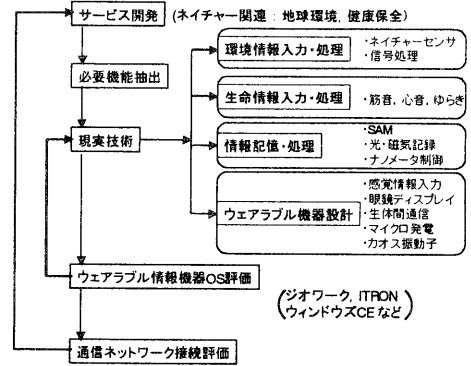
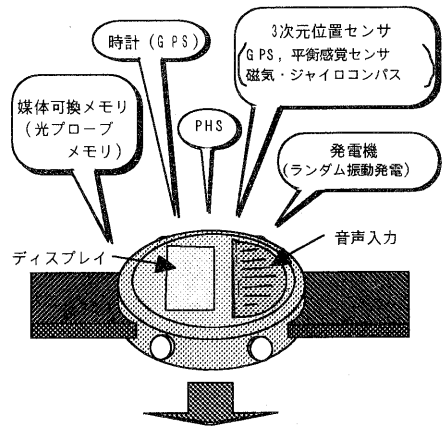


図6 情報マイクロシステム技術の研究の流れ
Fig.6 Flowchart for the development of a micro information system



ナビゲーション, 3次元マウス
高精細動画像記憶, データ通信
エネルギーフリー

図7 「時空計」の概念

Fig.7 Concept of space watch

		地磁気情報の利用可否	
		可能 (近くに磁性体・ノイズ源がない場合)	不可能 (配管内等)
利用可否	可能(重量)	地磁気センサ+傾斜センサ	ジャイロ(2軸)+傾斜センサ または ジャイロ(3軸)
	不可能(重量)	地磁気センサ+ジャイロ(1軸) または ジャイロ(3軸)	ジャイロ(3軸)

精度が必要な場合 → ジャイロ
小型化の可能性 → 地磁気センサ+傾斜センサ, ジャイロ
低価格 → 地磁気センサ+傾斜センサ

図8 測定環境条件における平衡感覚センサの検討
Fig.8 Choice of the balancing sensors according to the environmental conditions

図を示す。サイズは2×3cmとした。また、1988年頃からマイクロマシン技術が出現し、微小機構部分の製造が可能となってきた。本提案は記憶容量1Tビット級、大きさ腕時計型の光メモリである。開発の第一ステップはCDクラスの記憶容量(650MB)の腕時計サイズ化、第二ステップはDVDクラスの容量の腕時計サイズ化である。これには、直径10nm、速度10m/sで移動する記憶ビットの3次元位置を非接触またはタッピング状態で計測し、ナノメータの精度でヘッドを追従させる技術が必要である。このため、高速ナノトラッキング、精密回転系、光学的R/Wが必須技術となる。

(3) 生体情報通信システム

従来の健康管理(ヘルスクエア)は、職場、学校での定期健康診断、人間ドックの他は、自宅体温、血圧、体重、体脂肪率を各人が意識して測定し、紙に記録したものを定期的に医者に見せるという形で行われてきた。高齢社会になると、一人暮らしの高齢者が増加することが予想され、定期健康診断のため外出するのも困難になったり、定時的な血圧測定などを期待しにくい状況になる。さらに、屋内で転倒し骨折したために身動きが取れなくなった時に緊急通報する手段が必要となる。また、徘徊癖を持つ痴呆老人の家族から、居場所を把握できるシステムが切望されている。

近未来には図10に示すように、人間から発信される情報をセンシングし、刻々の状態を認識、異常検出した場合に救急病院や自宅へ通信網を介して自動連絡するウェアラブル情報機器を各自が身にまとうて生活するのがヘルスクエアの形になると考えられる。このシステムが実現されると、上で述べた日常生活での生体情報のデジタル自動記録、転倒検出と緊急通報、徘徊痴呆老人の定位が可能となる。

図11が提案する装着者のヘルスクエアに有用なウェアラブル情報機器である。システムは大きく3つから構成した。眼鏡型ユニットには生体情報として咀嚼の回数と力、脈拍を、位置定位のためのGPSアンテナを配置する。胸部ユニットは心電図、体温と転倒検出や行動認識をするための加速度、ジャイロセンサから構成される。腕時計型ユニットには(2)で述べた大容量メモリとともに緊急時に公衆

回線を通じて連絡できるような電話機能を内蔵する。咀嚼は健康の原点とも言われ、咀嚼回数を数えるという万歩計のような形で広く普及すると考えられる。また、咀嚼力はスポーツ選手的能力評価にも使用可能である。咀嚼に関しては異常検出して緊急通報することは無いが、日々の咀嚼回数、咀嚼力を無意識に記録しておいてくれるシステムを目指している。徘徊痴呆老

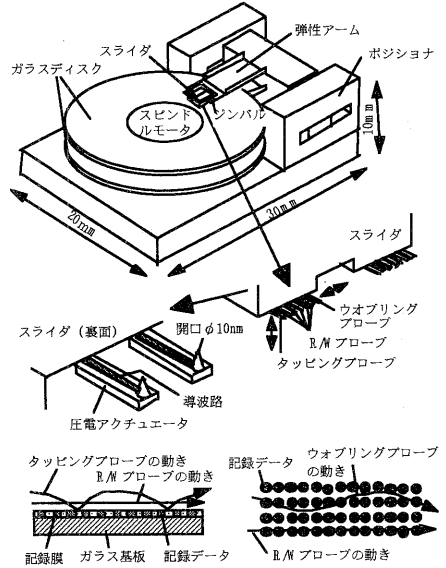


図9 腕時計型次世代ナノ光メモリの概念図
Fig.9 Concept of watch-size nanomemory

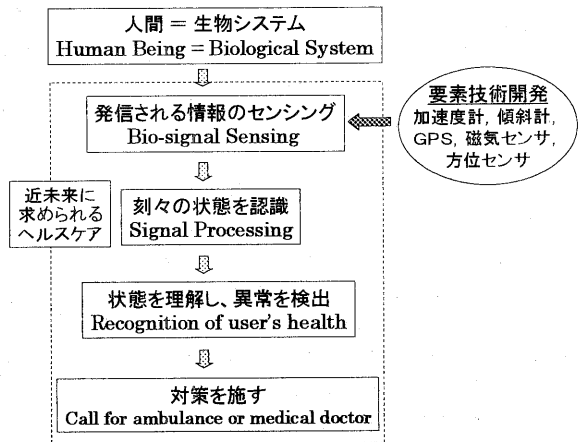


図10 生体情報通信システムへのアプローチ
Fig.10 Approach for biomedical info-communication system

人の定位と(1)時空計は共通する技術が必要であるが、GPS アンテナは体のできるだけ高い位置に置くべきなので、眼鏡や帽子に内蔵する。図12は図11中の胸部ユニットの試作機である。心電図情報の自動解析や圧縮技術は既存の技術を導入し、新たに3軸加速度、3軸角速度の計測信号から転倒検出や行動を認識するものである。

5. ネイチャーインタフェイサーの提案

マイクロマシン技術、マイクロセンサ技術、ウェアラブルコンピュータ技術、無線技術、インターネット技術の融合によって、極微の情報マイクロシステムの構成が可能となってきた。その結果、この微小デバイスを野生動物、人間、動く人工物体に装着し、刻々の状態検出情報を認識処理し、ワイヤレスによる制御、および診断を行うことが現実味を帯びてきた。本節では、情報マイクロシステム技術によって自然とのインタフェイス(ネイチャーインタフェイス)を高度化する技術、すなわち自然情報の入力の自動化による“自動操作コンピュータ”についてのコンセプト提案を行う。

図13は、コンピュータ端末形態の分類の試みである。従来、コンピュータの端末は人間が操作することが基本であり、キーボードなどによるデジタル入力の指令によってコンピュータを動作させるものであった。このような端末が、LSIやマイクロマシン技術の進歩によって重量・体積ともにマイクロ化し、携帯型が出現するとともに装着可能なウェアラブルへと進化してきた。これに対して、もう一つの流れは、コンピュータを操作することを無人化する技術である。つまり、おかれた環境の中でアナログ的な情報を感知し、これをデジタル量に変換し、さらには自分の持つ知識(データベース)に基づいてこの情報を判読し、判読した結果をコンピュータ又は通信回線と結ばれた別の端末に送信するという技術である。これは、図13の右側のセンサ通信に適した端末であり、人間だけでなく動物や人工物に対しても装着可能で、健康モニタ情報、動物の位置情報、あるいは人工物の劣化情報、地球環境情報などを検知するうえでのキーデバイスとなる。筆者はこ

れを「ネイチャーインタフェイサー」として提案する。図14にこの構成を示す。

各種の情報をとらえて、腕時計サイズのコンピュータでA/D変換して認識処理し、この情報を無線で発信するデバイスである。このときのキーとなる技術は、

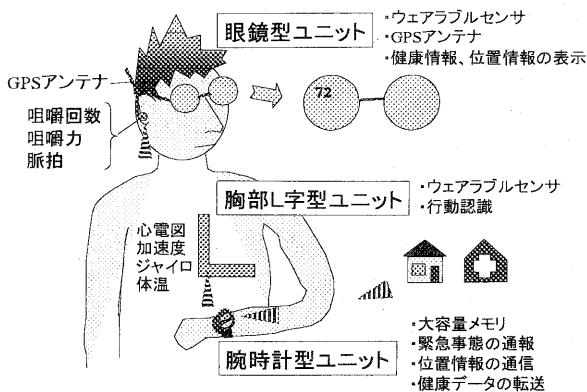


図11 ヘルスケアに有用なウェアラブル生体情報通信システムの構成
Fig.11 Wearable information system for human healthcare

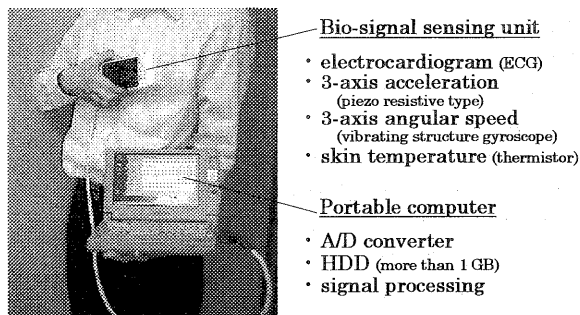


図12 循環器系を対象にしたウェアラブル生体情報通信システムの試作機
Fig.12 Prototype of the wearable information system for human healthcare healthcare

	モバイル通信	センサ通信
端末形態	携帯型 (Portable)	装着型 (Wearable) → 埋め込み型 (Built-in)
操作	人間が介在	人間介在せず(自動)
入力信号	デジタル主体	アナログ主体
対象	人間	人間、動物、自然、人工物
(インタフェイス技術)	(Human Interface)	(Nature Interface)
操作手段	キーボード主体	センサ主体
CPUの役割	信号処理、出力	A/D変換、認識処理後、デジタル信号送信
ネットワーク接続	無線	無線、又は有線
KEY WORD	携帯電話・PHS、ページャ、PDA、ノートPC	Pervasive, Ubiquitous

図13 コンピュータ端末の分類の試み
Fig.13 Classification of the terminals for computer

入力情報を意味のある情報か否かを判断して、その採取を続けるかスリープモードに入るかというようなソフトの技術とハード構成技術の両輪によって消費エネルギーを最小にする技術である。このような技術の先達は腕時計にある。図15はこれらの技術によって地球上を動き廻る動物の位置、化学物質の同時検出による地球環境情報の検知による環境保全への応用や、歯車や回転軸など、運動する人工物の劣化状態の検知による大事故未然防止などへの応用などのサービスイメージである。

このようにネイチャーインタフェイサーがマイクロ化すればするほど、応用範囲は飛行機から小鳥までと広がってゆくことが期待される。3次元の位置情報と時間の4次元情報および、各種の化学物質情報を同時にとり込むことができれば、コンピュータは人知れず(無人操作)で我々の生活を護り、また潤いあるものにしてくれるであろう。

6. まとめ

情報機器の体積・重量は本質的には零であるべきで、この究極の目標値に向けたマイクロシステム技術が電気、機械、物理、化学の各方面から開発されており、今後もその努力が続いてゆく。一方、コンピュータを人間が操るという従来の路線が続くとともに、これを無人で動かすといういわば Pervasive Computer の世界が拓かれつつある。本稿では上記の2つの潮流、すなわちマイクロ化とパーベシブ化の技術を整理するとともに、これからの合流による新しい端末の概念「ネイチャーインタフェイサー」を導出し提案したい。

参考文献

- 1) 板生：マルチメディア情報通信機器とマイクロシステム技術，精密工学会誌，Vol.62，No.9，pp.1227-1232，(1996)
- 2) 卜部：超小型携帯電話機のキーデバイス，電子情報通信学会セミナーテキスト，(1994)

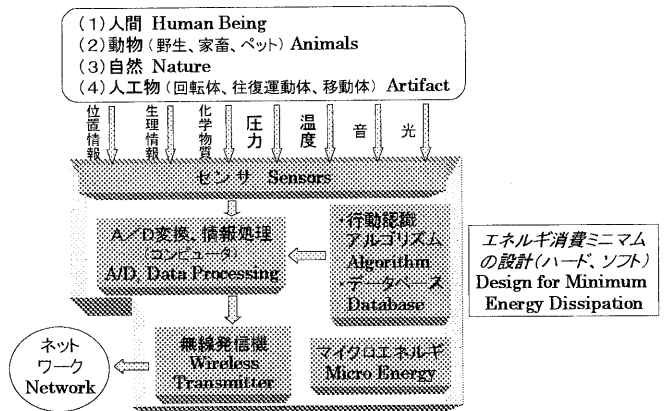


図14 ネイチャーインタフェイサーの構成
Fig.14 The composition of nature interfacier

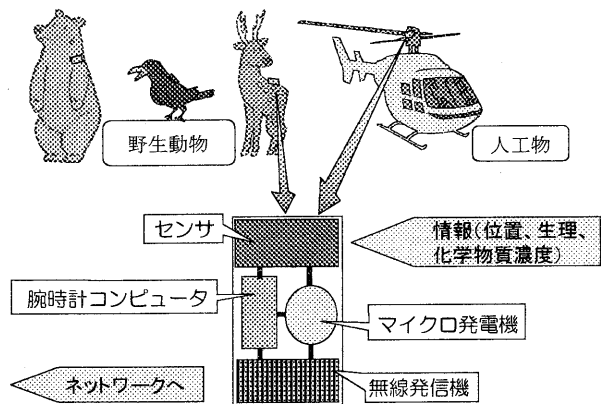


図15 ネイチャーインタフェイサーの応用
Fig.15 The application of nature interfacier

- 3) マイクロマシン技術の経済効果に関する調査研究会(主査:板生)報告書，マイクロマシンセンタ(1994)，(1995)
- 4) 板生：情報マイクロシステムの世界とウェアラブル情報機器，マイクロメカトロニクス，Vol.42，No.1，pp.2-9 (1998)
- 5) 板生：情報マイクロシステム，朝倉書店 (1998)