

筑波大学大学院博士課程

システム情報工学研究科修士論文

実物体型アイコンを用いた
実体を持つデジタル情報の操作環境

塚田 裕太

修士（工学）

（コンピュータサイエンス専攻）

指導教員 田中 二郎

2014年3月

概要

ユビキタスコンピューティングの登場により、人間にとってより自然に、コンピュータの存在を意識することなくデジタル情報自在に活用できる情報環境が研究されるようになった。そのためのアプローチの1つとして、実物体インタフェースの研究がある。

実物体を使ったインタフェースシステムは、デジタル情報を現実世界の事物を対応させ、実物体を使った物の扱いによってコンピュータを操作する手法である。人間にとって馴染みのある日用品などの道具をインタフェースにすることで、直感的なコンピュータの操作体系を実現する。一方で、実物体インタフェースでは、汎用的なコンピュータ操作に対応することが難しいという課題がある。本研究は、コンピュータのデジタル情報を実世界に取り出した実物体アイコンのインタフェースを対象とし、汎用的な操作に対応するものへこれを拡張するものである。そして本研究では、それを実現するカプセル型実物体アイコン及びそれを使った操作環境を提案する。

カプセル型アイコンは、コンピュータのデジタル情報が対応するデータ部分と、デジタル情報に対して実行する操作や出力する形式を表すタスク部分が組み合わさって構成される実物体アイコンである。このカプセルはコンピュータ操作を実行するトリガとなり、PCが装備するカプセルを接続する装置にセットすることで、コンピュータ操作を発動させる。カプセルを構成するデータ部分またはタスク部分を組み替えることで、実行する操作を切り替えることができる。また、スピーカやプリンタといった出力装置もデータ部分と組み合わせることができ、出力装置もタスク部分と同様に、ファイルの出力形式と対応する実物体アイコンとして機能する。

本研究では、カプセル型実物体アイコンとそれを用いた操作環境のプロトタイプを作成した。プロトタイプを試作を通じて、本研究の手法を実物体インタフェースの先行研究例と比較し、実物体アイコンの拡張として本手法が位置付けられることを考察した。

目次

第1章	序論	1
1.1	研究の背景	1
1.2	本研究が提案するアプローチ	2
1.3	本論文の構成	2
第2章	関連研究	3
2.1	実物体インタフェース	3
2.1.1	実物体とデジタル情報が対応する情報環境	4
2.1.2	日用品の形をしたインタフェースデバイス	5
2.1.3	実物体インタフェースの汎用性を旨とした研究	6
2.2	まとめ	7
2.2.1	実物体インタフェース研究の動向	7
2.2.2	本研究のアプローチ	7
第3章	カプセル型実物体アイコン及びそれを用いたコンピュータ操作	8
3.1	カプセル型実物体アイコンの概要	8
3.2	デザインスペース	9
3.2.1	GUIを用いたコンピュータとの対応	9
3.2.2	カプセルが担う役割	9
3.3	プロトタイプ操作環境	10
3.3.1	カプセル型実物体アイコン	10
3.4	実物体アイコン接続モジュール	11
3.4.1	カプセル接続スロット	13
3.4.2	データ部分接続モジュール	13
3.5	カプセルの利用例	15
3.5.1	PCの操作	15
3.5.2	出力装置の操作	15
3.5.3	データ部分の割り当て変更	16
3.5.4	実物体アイコンの管理	16
第4章	システムの実装	18
4.1	環境の構成	18

4.2	ハードウェア	18
4.2.1	データ部分	21
4.2.2	タスク部分	21
4.2.3	実物体アイコンの検出装置	22
	カプセル接続スロット	22
	データ部分接続モジュール	24
4.3	ソフトウェア	25
4.3.1	マイコンの制御	25
4.3.2	アプリケーション制御プログラム	25
	ディジタル情報の割り当て	26
	データ部分の割り当ての変更	27
	複数端末間の連携	27
第5章	議論	28
5.1	関連研究と本手法の比較	28
5.1.1	実体を持つディジタル情報	28
5.1.2	コンピュータ操作の実物体化	28
5.1.3	映像装置と組み合わせる研究	29
5.1.4	総括	30
5.2	カプセル型実物体アイコンの課題	31
5.3	展望	32
第6章	結論	33
6.1	本研究の成果	33
6.2	今後の展開	33
	謝辞	35
	参考文献	36

図目次

3.1	カプセル型実物体アイコン概念図	8
3.2	GUI を使ったコンピュータ操作と提案システムとの対応	10
3.3	カプセル型実物体アイコン	11
3.4	カプセルの使用の流れ	12
3.5	カプセル接続スロット	13
3.6	データ部分接続モジュール	14
3.7	出力機器用データ部分接続モジュール	14
3.8	割り当て変更モジュール	16
4.1	システムの構成	19
4.2	コンピュータ操作実行の流れ	20
4.3	カプセルのデータ部分と内部構造図	21
4.4	カプセルのデータ部分検出回路	22
4.5	カプセル接続スロット	23
4.6	タスク部分識別機構	24
4.7	カプセル接続スロットの内部構造	25
5.1	インタラクションモデルの違い	29

表 目 次

4.1	データ部分検出回路の出力値	26
4.2	各実物体アイコンとデジタル情報の対応	26
5.1	実物体インタフェース研究とカプセルの比較	30

第1章 序論

1.1 研究の背景

ユビキタスコンピューティングは、21世紀のコンピュータの在り方として、1991年に Mark Weiser によって提唱された [1]。コンピュータはますます小型かつ安価になり、私たちの生活空間のいたるところに偏在できるようになる。そして、いたるところに存在する（ユビキタスな）コンピュータは、もはや人が意識して使うものではなく意識せずとも自在に活用できる、いわば透明なコンピュータになっていく。これが Mark Weiser が予言した 21 世紀の情報環境であった。このようなユビキタスコンピューティングの実現にむけた技術は従来から広く研究されてきており、現代では家具・家電などへ応用されるようになっている。コンピュータの高性能化やネットワーク技術の発展といった背景もふまえると、これらの技術は今後さらに普及し、推し進められていくことが予想される。

ユビキタスコンピューティングの登場を背景に、現在の Graphical User Interface(GUI) から、より人間よりも自然にデジタル情報を扱えるようにするための、ポスト GUI の研究が盛んに行われるようになった。そのアプローチの 1 つが、現実にある事物をコンピュータのインタフェースに取り入れる、実物体インタフェースの研究である。ここでいう実物体には、ブロックのような小型の物や、私たちが普段使っている日用品の道具など、達成したいコンピュータの操作や処理に応じて、様々なものが取り入れられている。コンピュータのデジタル情報やその操作を、実体を持つ物や道具に対応させることで、手に取って触り、直感的に理解できるデジタル情報のインタフェースを実現する。日用品などの道具を用いる Tangible User Interface や、コンピュータのデジタル情報実物体に対応させ、実世界でのアイコンのように活用する実物体アイコン (Physical Icon) などが、その例として挙げることができる。

この実物体インタフェースはしばしば、特定のコンピュータ操作やデジタル情報と 1 対 1 で対応したものとして利用される。これは、外観や機能を動的に変更することが容易でないという実物体の性質によるものである。実物体インタフェースは、日用品などのアフォーダンスを利用することにより、限られた機能に特化させた専門的なインタフェースとして機能させる活用方法が多い。

ユビキタスコンピューティングが今後より一般に浸透すれば、コンピュータの利用形態が GUI で表現されたものから、人間にとってより直感的に理解できる新しいインタフェースが取り入れられるようになるだろう。実物体インタフェースがポスト GUI として受け入れられ、活用されるようになるためには、実物体インタフェースを用いた操作体型においても、現在の私たちが使っている GUI の操作体系で実現できることは、同様に可能であることが望ましい。しかし、GUI のような汎用的な機能に対応する操作は、特定の機能や操作に特化したイ

インタフェースの実現を目的とした実物体インタフェースにおいて、重視されてこなかった。仮に、私たちが現在行っているようなコンピュータの操作環境のインタフェース全てを実物体インタフェースに置き換えると、操作や機能の数だけ多種多様な実物体インタフェースを扱うが必要になる。操作手法が1つの操作環境の中で乱立し、利用者が混乱することが考えられる。

1.2 本研究が提案するアプローチ

本研究は、実物体を使った直感的な操作感と汎用的な機能とを両立する、実物体アイコンの実現を目標とした。実物体インタフェースの課題であった、汎用的な操作に対応することが難しいという問題を解決が目的である。本研究が提案する実物体アイコンは、デジタル情報に実体を持たせて有形化した実物体アイコンとしての機能だけでなく、操作の切り替えなどにも対応する汎用性を持つ。

このアプローチとして、複数の実物体アイコン同士を組み合わせることで機能を変える実物体アイコンとして、カプセル型実物体アイコン [2] を提案する。コンピュータのデータそのものが対応するデータ部分と呼ぶ実物体アイコンと、データに対して実行する操作や出力の形式と対応するタスク部分と呼ぶ実物体アイコンを用いて、それらを1つずつ組み合わせることでカプセルと呼ぶ実物体アイコンが完成する。コンピュータ操作を行うユーザは、データ部分とタスク部分を1つずつ組み合わせることでコンピュータに実行させたい操作を指定するカプセルを構成する。このカプセルはコンピュータ操作を実行するトリガとしての役割を持つ実物体アイコンであり、これをコンピュータに接続させるとカプセルが表す操作を実行される。カプセルは、実物体が持つ直接的な操作と、データ部分とタスク部分の区合わせによる操作の汎用性を併せ持つインタフェースである。

1.3 本論文の構成

第1章は本章である。第2章では、関連研究について述べ、実物体インタフェース研究の動向について説明し、本研究の位置づけと取り組む課題について述べる。第3章では、本研究が提案する、カプセル型実物体アイコンを用いる情報環境について述べる。第4章は、第3章で述べた情報環境のプロトタイプを実装方法について述べる。第5章では、カプセル型実物体アイコンを関連研究と比較し、位置づけや課題について考察する。第6章では、本研究のまとめと今後の課題について述べる。

第2章 関連研究

2.1 実物体インタフェース

本章では、実物体をコンピュータのインタフェースとして活用した研究の動向について論じる。

実物体をインタフェースとして取り入れる最大の目的は、コンピュータのデジタル情報と、それを扱う人間がいる現実世界との隔たりの解消である。

コンピュータのデータがある仮想世界を表現する手法が **Character User Interface(CUI)** から **Graphical User Interface(GUI)** に変化し、それまで計算機としての存在だったコンピュータは、その役割を大きく変えることになった。GUI のグラフィカルな情報表現は、コンピュータ操作の明瞭化や情報提示方法の多彩化をもたらした。画面に表示されるメニューボタンやアイコンをカーソルでポインティングする操作や、デスクトップと名付けられた現実を模した空間にアイコンを配置するといったメタファ表現が可能になることで、デジタル情報の扱いがより直感的に理解しやすいものになった。これらの GUI による情報表現は、コンピュータを高価で専門的な計算用途に用いる専門機器から、誰もが所持するパーソナルなものへ発展した。そして、それは現代のコンピュータの一般的な操作環境として広く受け入れられている。

一方で、GUI によってデジタル情報が理解しやすい形で表現されても、デジタル情報と私たち人間のインタラクションには、依然として隔りがある。GUI の登場によって、人間がデジタル情報をより直感的に捉え・扱うことは可能になったが、デジタル情報に間接的にアクセスしていることは変わらない。私たちが扱いたい対象はコンピュータ内のデジタル情報だが、実際に私たちが扱っているのはマウスやキーボードであり、目的のデジタル情報は画面の中にある。ユビキタスコンピューティングが目指す、意識する必要がない透明なコンピュータを利用する環境は、コンピュータを扱うという意識は存在せず、人間の現実世界での振る舞いにデジタル情報が付随してくるようによりデジタル情報と関わることのできる環境である。この実現のためには、コンピュータの仮想世界と人間のいる現実世界の隔りは、大きな障害である。

実物体インタフェースを用いた研究のねらいは、このコンピュータ内の仮想世界にあるデジタル情報に実体を与えて現実世界に登場させることで、人とデジタル情報のインタラクションを現実世界で完結させることにある。本章ではまず、実物体をコンピュータのインタフェースとして取り入れる研究について、

- 実物体をデジタル情報と対応させ現実世界のアイコンとして活用する研究

- 日用品などの道具にコンピュータのインタフェースデバイスとして活用する研究
- 実物体インタフェースと映像装置を組み合わせる汎用的な機能に対応するもの

についてそれぞれ説明する。そしてそれらの動向を踏まえ、本研究で解決する課題と本研究の提案手法の位置づけについて述べる。

2.1.1 実物体とデジタル情報が対応する情報環境

実物体にデジタル情報のデータを対応させ、現実世界にそれを持ち出して活用する研究がある。現実世界でのアイコンとして作用する実物体は **Physical Icon(Phycon)** と呼ばれ、コンピュータのデジタル情報に実体を持たせ、現実世界でデジタル情報を管理・操作する。例えば、実物体アイコンを用いた研究としては、文献 [3][4] のようなものがある。

MediaBlocks[3] は、小型の木製ブロックが画像や動画などのデジタル情報と対応したインタフェースシステムである。**MediaBlocks** は、オンライン上におけるデバイス間での情報のやり取りを、実体を持つブロックを介して行うことを目的としたシステムである。実物体アイコンであるブロックは、プロジェクタやビデオカメラ、プリンタや電子黒板と連携することが可能で、それぞれに取り付けたスロットにブロックを差し込むことで、ブロックと対応付けられた情報をそのスロットの機器で出力することができる。また、このブロックには認識用の ID タグが 1 つ 1 つに取り付けられているのみで、実際にデジタル情報を内部に保存しているわけではない。

IconSticker[4] は、デスクトップのアイコンを紙として現実世界に取り出し、それを管理するインタフェースである。**IconSticker** は、アイコンの図柄、名前、ID を示すバーコードが印刷された、糊付の紙片である。画面の中のアイコンが印刷されて実世界に登場し、現実空間をコンピュータのデスクトップの延長として活用することができる。

Wong の文献 [5] は、実物体に ID を付与するのではなく、実物体の外観を認識して実物体アイコンとして動的に認識する実物体アイコンの操作環境を実現した。日用品などの実物体が、PC のそばに配置されると実物体アイコンとして認識され、その実物体にコンピュータのファイルなどのデジタル情報を関連付けることができる。実物体がデスクトップのフォルダのように機能し、実物体の中にデジタル情報を格納するという管理の方法が可能になる。

また近年では、PC 操作を対象にしたものだけでなく、実物体アイコンを住環境やコミュニケーションツールに適応させたもの、携帯端末のインタフェースとして取り入れたものなどがある。実物体アイコンは、生活の身近な場面や状況を解決するものへ応用されるようになってきている。

Push-Pin[6] は、ホームオートメーションのためのエンドユーザ向けプログラムである。家電などの形状をした、ピンと呼ぶ物理タグを用いており、このピンをモジュールと呼ばれる機器に接続することで、住民が自由にプログラミングを変更することができるようになる。例えば、フロアランプに対応したピンをスイッチを備えるモジュールに差し込むことで、このスイッチでフロアランプの ON・OFF の操作ができるようになる。

GaussBits[7] は、磁石を用いた実物体アイコンとそれを用いた操作手法である。磁石で認識される実物体アイコンを動かすことで、置いたり浮かせたりといった3次元的な動きをコンピュータ操作に反映させることができる。

また、文献[8]は、画像、音声を実物体を介してネットワークで送信するコミュニケーションツールである。友人からのプレゼントのような人物に関連する物体をインタースとして取り入れ、動かす、持ち上げる操作によって画像、音声の送受信を行うシステムである。

山下らの文献[9]は、遠隔地にいるアウェアネス情報を共有することを目的として、実物体アイコンを使って「誰が、何をしている」というアウェアネス情報を設定し、遠隔地の相手に提示する。実物体アイコンは、「誰が、何をしている」の文脈でいう主語と述語に対応しており、実物体を使って文脈を直観的に指定することができる。

2.1.2 日用品の形をしたインタフェースデバイス

デジタル情報を実世界のアイコンとして取り出すのではなく、デジタル情報の扱いや操作を実物体化させ、私たちが日用品や道具を扱うように、コンピュータ操作を行えるようにする試みがある。本節では、コンピュータの操作を実物体と対応させた、実物体を用いたインタフェースデバイスの研究を紹介する。

ToolDevice[10][11]は、スポイトやピンセットなどの日用品型のデバイスを用いて、その道具に対応したコンピュータ操作を実行できるインタフェースデバイスである。コンピュータのインタフェースデバイスとして、基地の馴染みのある道具を使うことで、使い方がすぐに理解できるインタフェースを実現している。ToolDeviceでは、ディスプレイにスポイトやピンセットを当てた、デジタル情報を「吸い上げる」・「掴む」といった動作によってコピー&ペーストなどのコンピュータ操作を実行したり、3Dモデルを作成する操作を行ったりすることができる。

MouseField[12]は、RFIDリーダと動きセンサを備えた装置で、RFIDを添付した物体をMouseField上に置き、それを動かすことでコンピュータ操作を実行するものである。文献[12]で紹介されているPlaySound++では、CDのジャケットをMouseFieldに置くことで再生し、さらにジャケットを回転させることで音量を操作することができる。実物体を介した操作によって、ディスプレイがなくともコンピュータ操作が実行できる。

Slurp[13]は、スポイト状のインタフェースデバイスを用いて、ディスプレイの中のデータを別の端末や出力機器へ移動させることができるシステムである。スポイト状のデバイスの先端をディスプレイに表示されるファイルアイコンに当て、スポイトのように押し込むことで、そのファイルアイコンのデータをスポイトに仮想的に吸い取らせる。吸い取らせたデータは、別のPCのディスプレイに押し当てて移動させたり、スピーカなどの機器に向けることでその情報を出力させたりといった、スポイトのメタファを使ったデジタル情報の操作が可能になる。

2.1.3 実物体インタフェースの汎用性を目指した研究

実物体インタフェースが従来の GUI に劣る面として、汎用的な操作や機能に対応できないことが挙げられる。物理的なオブジェクトである実物体インタフェースでは、GUI で提示する情報のように、その色や形を柔軟に変形させることは難しい。実物体インタフェース研究として広く知られる、石井らが提唱する **Tangible User Interface(TUI)** においても、『TUI は汎用的なインタフェースを目指しているのではなく、特定のアプリケーション・ドメインにおける操作性向上を目的に、特化されたインタフェースを指向している』と明言している [14][15]。

しかし、私たちがデジタル情報に対して実行したい操作が、コンピュータにアクセスし、デジタル情報を操作して出力することであることは、GUI の操作体系でも実物体インタフェースの操作体系でも変わらない。そのためには、多種多様で高機能な操作を可能にした GUI の機能に、実物体インタフェースでも対応できることが望ましい。

その実現に向けた取り組みとして、手に取って感覚的な操作が可能な実物体と、提示する情報を柔軟に変更できる映像表現を組み合わせた、インタフェースシステムを構成する手法がある。特に近年では、タブレット端末やテーブルトップといった映像装置が用いられ、そのインタフェースとして実物体を取り入れる手法が多い。本節では、それらについて例を挙げて紹介する。

DataTiles[16] では、「タイル」と呼ぶ透明なアクリル製の正方形パネルとテーブルトップシステムの平面ディスプレイを組み合わせるシステムである。タイルにはそれぞれアプリケーションや情報サービスに対応する機能が割り当てられており、平面ディスプレイの上にタイルを置くと、ディスプレイのタイルの部分に情報が表示される。また、タイル同士を隣接することによって、それぞれの情報を組み合わせた操作（時間軸を表示するタイルと動画を表示するタイルを組み合わせると、ビデオの再生時間を制御するなど）ができる。

Tangible Remote Controllers for Wall-Size Display[17] は、タブレット端末上に物理オブジェクトを乗せ、物理オブジェクトを動かすことで大型ディスプレイ用のインタフェースとして操作できるシステムである。タブレット端末上にアクリル製の実物体を乗せると、その実物体と対応させる機能を選ぶメニューがタブレット端末の画面に表示される。ユーザはそこから必要な機能を選び、実物体とその機能に対応させることで、大型ディスプレイに対して行う操作を選ぶことができる。1 つの実物体に実行させる操作を、タブレット端末を使ってメニューを表示し、ユーザに選択させることがこのシステムの特徴である。

紙窓 [18] は、タッチパネルディスプレイを搭載した端末に用いるカードインタフェースである。ディスプレイにカードを乗せると対応するアプリケーションが起動し、タッチ操作ができる。カードをディスプレイに乗せている間だけアプリケーションは起動するので、カードを用いて作業切り替えを行うことができる。

文献 [19] は、実物体と AR による付加情報の重畳表示を組み合わせたインタフェースシステムを提供している。このシステムで頭部搭載型ディスプレイ (HMD) を利用した環境を想定し、実物体にデジタル情報を重畳表示し、さらにその実物体を動かすなどのフィジカルな動作でデジタル情報を操作できるシステムである。

2.2 まとめ

2.2.1 実物体インタフェース研究の動向

本章では、実物体をインタフェースに取り入れる研究について例を挙げて紹介した。実物体をインタフェースに取り入れる試みは、デジタル情報とコンピュータでそれを操作する人間との間の隔たりを解消し、現実世界でデジタル情報とインタラクションすることを目標に研究されてきた。

2.1.1 で述べたようなコンピュータの情報を実世界に取り出すという発想や、2.1.2 で述べたような実際の道具にコンピュータの操作を対応付けるという発想の下、日常生活の場に合わせた応用例も見られるようになってきている。そして近年では、より汎用的または高性能な機能や操作に実物体で対応するべく、映像表現と実物体を組み合わせた実物体インタフェースの拡張が行われている。

2.2.2 本研究のアプローチ

実物体インタフェースが一般にも広く普及し、ポスト GUI として広く活用されるようになるためには、より汎用的かつ高性能な機能に対応していく必要がある。そして、このために現在用いられている手法が、2.1.3 節で挙げた映像装置と実物体インタフェースを組み合わせる手法であった。

一方で、映像を使った情報提示と実物体を組み合わせる手法に対し、実物体のみで汎用的な操作や機能を実現することもまた考えられる。そこでポスト GUI として発展していくための実物体インタフェースの課題となるのは、汎用的な機能に柔軟に対応できるかである。実物体インタフェースの最大の利点である、人間とデジタル情報のインタラクションが現実世界に閉じたものになるというメリットを失わないために、映像を出力する装置を操作体系に組み込むのではなく、実物体のみを使った現実世界におけるデジタル情報とのインタラクションによって、汎用的な操作や機能に対応することが望ましい。

そこで本研究では、複数の実物体アイコンを組み合わせることで、コンピュータの汎用的な操作に対応することのできるインタフェースシステムを開発する。1つ1つの実物体アイコンにはそれぞれ決まったデジタル情報と対応しているが、さらにそれらを組み合わせることによって、操作の切り替えや出力形式の変更のような操作に対応できる実物体アイコンとして利用できる。

本研究は、実物体アイコンの直感的な操作・取扱いと、それらを組み合わせた柔軟な操作の2つの要素を併せ持つ実物体アイコンを実現する手法として位置付けられる。

第3章 カプセル型実物体アイコン及びそれを用いたコンピュータ操作

本研究では，2.2.2 節で述べたアプローチを実現するため，カプセル型実物体アイコンならびにそれを用いたコンピュータの操作環境を提案する．本章では，カプセル型実物体アイコンの役割と，それを用いた操作の流れについて述べる．また，提案システムのプロトタイプを実装したので，これを紹介する．

3.1 カプセル型実物体アイコンの概要

カプセルは，コンピュータに実行させる処理に対応する実物体アイコンであり，2つの実物体アイコンが組み合わさって構成される．カプセルを構成する実物体アイコンには，データ部分と呼ばれる実物体アイコンと，タスク部分と呼ばれる実物体アイコンの2種類があり，それらから1つずつ選択する．

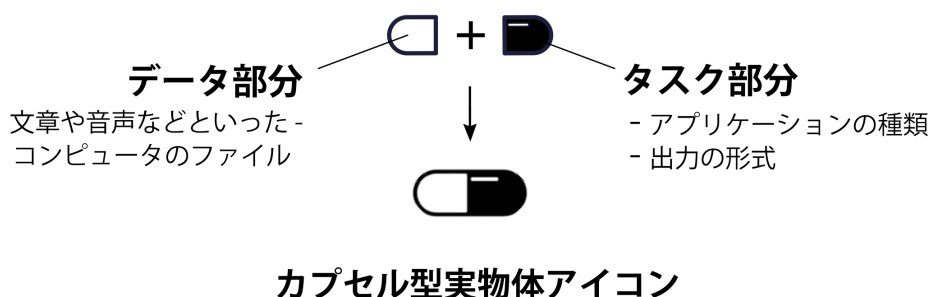


図 3.1: カプセル型実物体アイコン概念図

カプセルは，図 3.1 で示すような構成になっている．データ部分とタスク部分それぞれが対応するデジタル情報は，以下の通りである．

- データ部分：コンピュータに保存されたファイルと対応
- タスク部分：ファイルに対して実行するアプリケーションや操作手順と対応

データ部分にはコンピュータのファイルが、タスク部分にはファイルに対して実行するコンピュータ操作や操作に用いるアプリケーションが割り当てられている。その2つを組み合わせたカプセルは、「どのファイルに、何の操作を実行させるか」というコンピュータに実行させる操作の内容を表現したアイコンとして機能する。

3.2 デザインスペース

3.2.1 GUI を用いたコンピュータとの対応

Windows や Mac OS をはじめとした GUI を用いたコンピュータの操作は、目的となるデータ（画像や文章などのファイル）を指定し、続いてそのデータに対しする操作・処理を指定するという手順で行われる [20][21]。つまりこれは、どのデータかという対象の指定と、そのデータに何の操作を行うかという形式の指定を行っている。GUI におけるこの2つの指定は、マウスなどのポインティングデバイスを使ってファイルアイコンをポインティングして指定する操作、そのファイルを特定のアプリケーションで開く操作を実行する操作がこれに対応する。

一方で、本研究が提案するカプセル型実物体アイコンでは、カプセルのデータ部分がコンピュータのファイルを指す対象、カプセルのタスク部分がコンピュータが実行する操作を表す形式を表している。コンピュータ操作において、GUI を用いたものとカプセルを用いた操作との対応は、図 3.2 のように示される。データ部分を1つ選ぶという行為は、コンピュータのデジタル情報を選択（ポインティング）する操作に等しい。また、タスク部分を1つ選ぶという行為は開くアプリケーションを指定するような実行形式の指定に対応している。そして、その2つをつなぎ組み合わせたカプセルは、コンピュータに特定の命令を実行させる実物体アイコンとしての働きを持つ。

3.2.2 カプセルが担う役割

本研究が提案するカプセル型実物体アイコンを用いたインタフェースシステムは、現在一般的に用いられている GUI を用いたコンピュータの操作環境で活用されることを想定している。

カプセル型実物体アイコンの操作体系は、GUI の操作体系を代替するものではない。コンピュータの活用場面において、GUI では理解しにくい部分を感覚的に活用できるようにするものとして機能し、それを補助するものとして位置付ける。

例えば、カプセルを使ってデジタル情報を手渡したり交換したりすることや、大事なデータを金庫などに特別に管理しておくなど、デジタル情報が実体を持つことで、現実世界でデジタル情報を管理することが可能になる。また、コンピュータに不慣れな人や使い方を理解していない子供などにも、親しみやすく簡単にデジタル情報とインタラクションできる情報環境の実現も期待している。

本研究では、提案システムのプロトタイプを実装した。実物体アイコンとしてデータ部分、タスク部分を用意し、カプセルと連携する機器として、PC とスピーカ、ディスプレイ、プリ

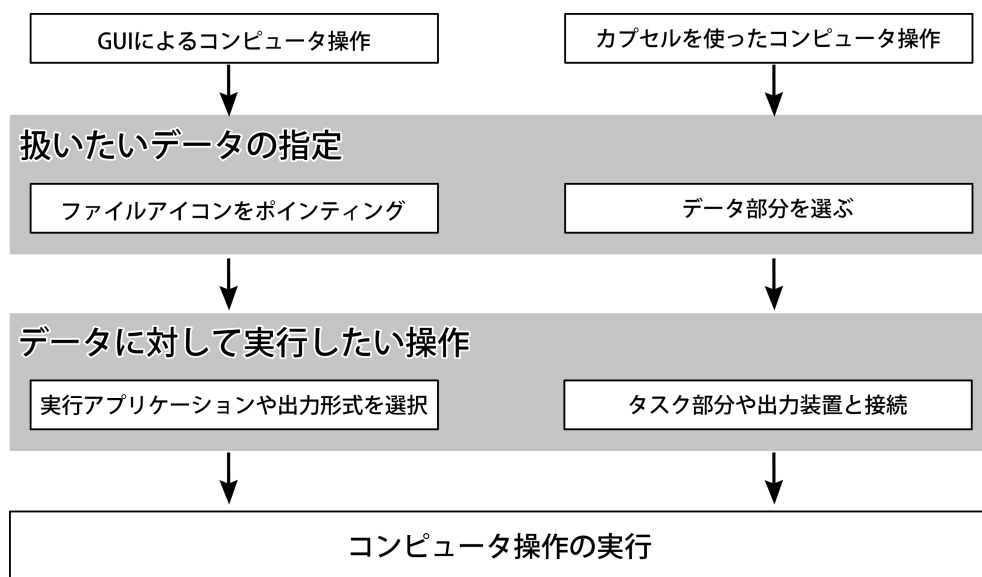


図 3.2: GUI を使ったコンピュータ操作と提案システムとの対応

ンタを用意した。各機器は、カプセルやデータ部分との接続するための接続モジュールを装備している。

3.3 プロトタイプ操作環境

本節では、カプセル型実物体アイコンの役割と、それを用いた操作の流れについて述べる。本研究では、提案システムのプロトタイプを実装した。実物体アイコンとしてデータ部分、タスク部分を用意し、カプセルと連携する機器として、PC とスピーカ、ディスプレイ、プリンタを用意した。各機器は、カプセルやデータ部分との接続するための接続モジュールを装備している。

3.3.1 カプセル型実物体アイコン

データ部分とタスク部分、その 2 つをつなげて組み合わせたカプセルを、図 3.3 に示す。コンピュータのファイルなどに対応したデータ部分と呼ばれる実物体を、コンピュータの操作や出力形式に対応したタスク部分や、データ部分接続モジュールとつなぎ組み合わせることで使用する。

カプセルを使ったコンピュータ操作実行は、図 3.4 に示すように、コンピュータのデジタル情報（ファイルなど）と対応するデータ部分をつなげて組み合わせる対象によって機能が変わる。データ部分をタスク部分と組み合わせた場合は、PC にコンピュータ操作を実行させ



図 3.3: カプセル型実物体アイコン

るカプセルになり，出力機器変更モジュールにつなげた場合は出力機器から直接データを出
力させる．

データ部分をファイルに対して実行する操作や出力形式と対応するタスク部分を組み合わ
せると，“特定のファイルに対して実行する操作”を指定するカプセルという実物体アイコ
ンになる．これを PC のカプセル接続スロットにセットすると，カプセルが表わすコンピュ
ータの操作を PC が実行する．

また，データ部分はタスク部分とつながてカプセルを構成するだけでなく，データ部分変
更モジュールに接続する機能もある．このデータ部分接続モジュールには，割り当て変更モ
ジュールとして機能するものと，出力機器接続モジュールとして機能するものの 2 種類があ
る．割り当て変更モジュールは，データ部分と対応するコンピュータのデータを変更するた
めに用いる．出力機器接続モジュールは，データ部分のデジタル情報を出力装置から直接
出力するために用いている．

以上のカプセルやデータ部分と出力機器を組み合わせた操作は，カプセルやデータ部分
を取り外すことで，コンピュータが実行する操作を中断，終了するようになっている．

3.4 実物体アイコン接続モジュール

カプセルやデータ部分を接続する装置として，それらを取り付ける接続モジュールを作成
した．この接続モジュールには，PC が 1 つ備え，カプセルを接続するためのカプセル用接続

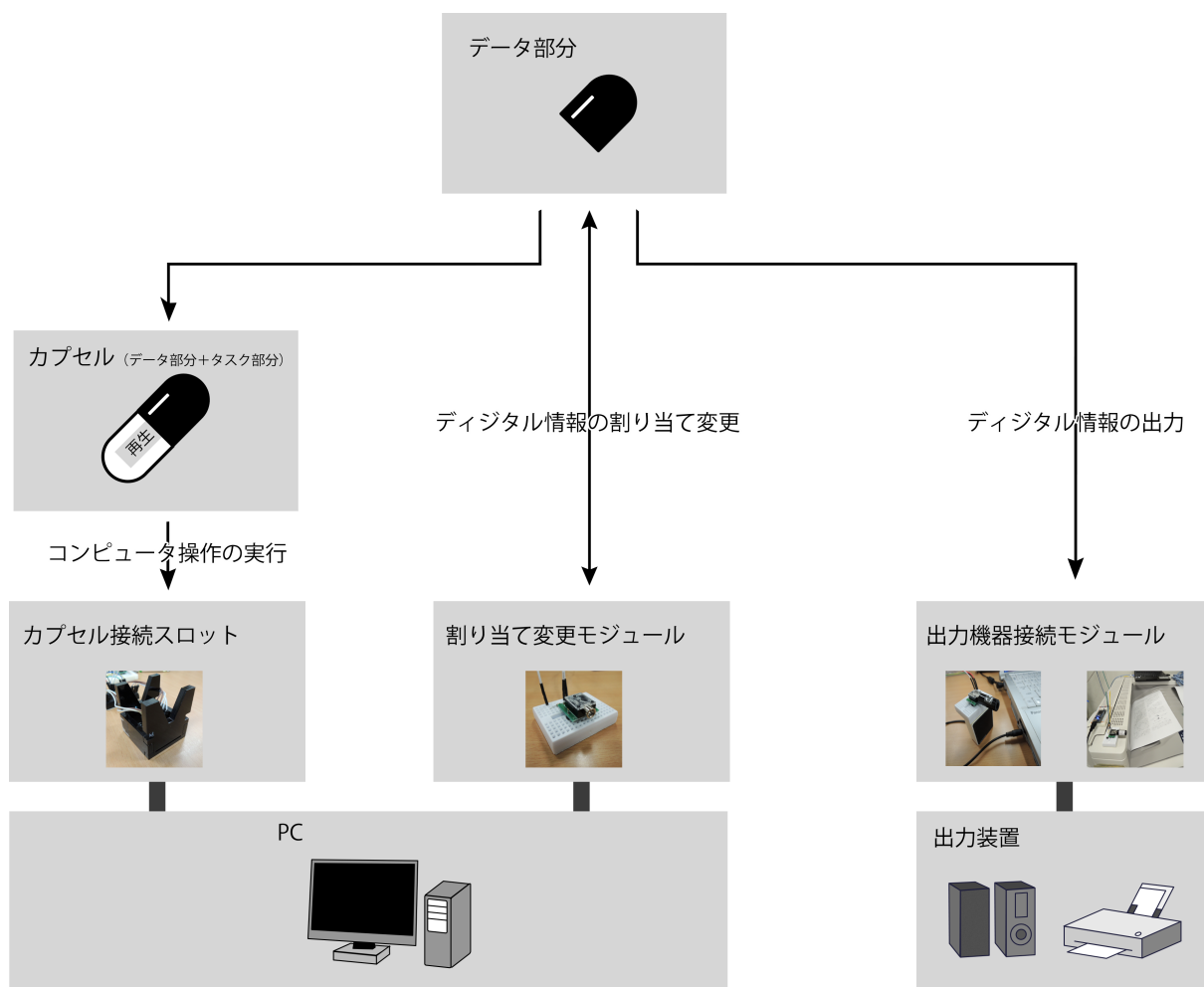
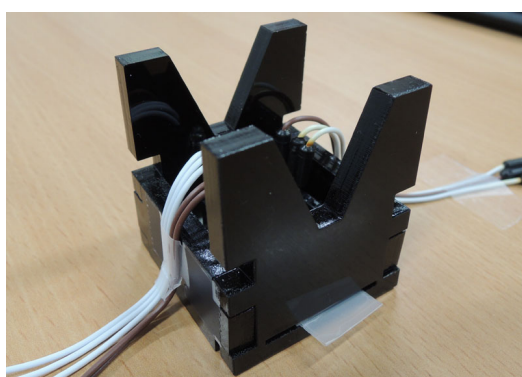


図 3.4: カプセルの使用の流れ

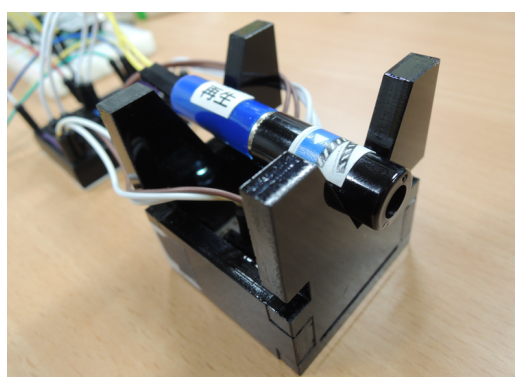
スロットと、割り当て変更モジュールや出力装置の出力機器接続モジュールのような、データ部分用の接続モジュールの2種類がある。

3.4.1 カプセル接続スロット

PCが備えるカプセル接続スロットの外観と使用の様子を、図3.5に示す。データ部分とタスク部分を1つずつつないで組み合わせ、カプセルをカプセル接続スロットのみぞに置く(図3.5(b))。このとき、タスク部分側の端子に検出用ケーブルに接続した状態にしておく。この一連の手順で、PCにカプセルをセットする。カプセルをセットすると、データ部分とタスク部分が認識され、カプセルが示すコンピュータ操作が実行される。



(a) カプセル接続スロット



(b) カプセルをセット

図 3.5: カプセル接続スロット

3.4.2 データ部分接続モジュール

データ部分と接続するための接続モジュールは、図3.6のようになっている。プリンタやディスプレイ、スピーカといったデジタル情報の出力装置は、図3.7のように、このカプセルのデータ部分と接続できる接続モジュールを1つずつ備えている。

データ部分の接続モジュールを使うと、コンピュータのデジタル情報を出力装置に直接作用させるインタラクションが可能になる。例えば、文章ファイルと対応するデータ部分を接続モジュールを使ってプリンタと組み合わせると、そのプリンタからデータ部分のファイルを印刷することができる。また、音声・音楽ファイルであればスピーカ、動画・画像ファイルであればディスプレイとつなげてデータを出力させることができる。

デジタル情報を手に取って出力装置のもとに持っていくことでデジタル情報を出力するといった、現実世界でのインタラクションでデジタル情報を操作できる。

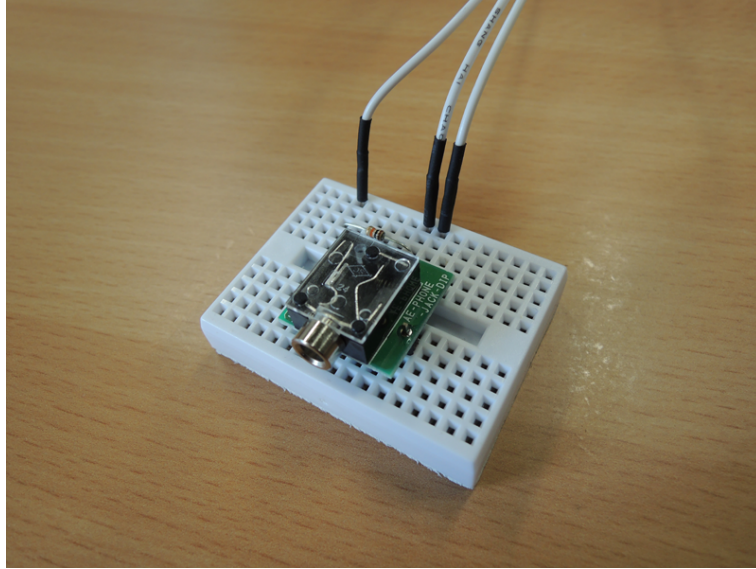
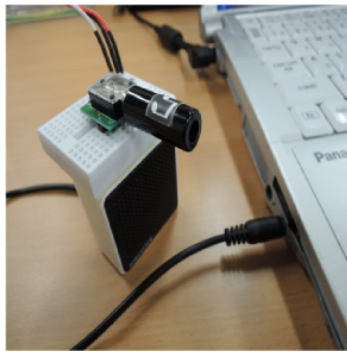
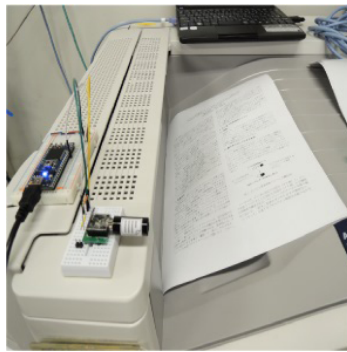


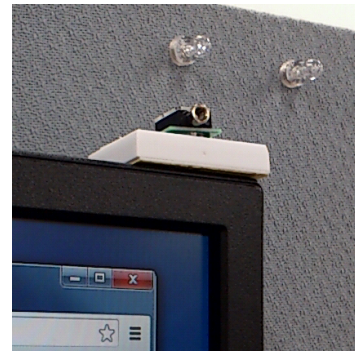
図 3.6: データ部分接続モジュール



(a) スピーカ



(b) プリンタ



(c) ディスプレイ

図 3.7: 出力機器用データ部分接続モジュール

3.5 カプセルの利用例

本節では、カプセル型実物体アイコンを活用するシナリオ例について述べ、期待する活用方法・効果を述べる。

3.5.1 PC の操作

PC を操作する場合は、その PC のどのファイルを扱うかに対応するデータ部分と、そのファイルに何の操作を実行するかにあたるタスク部分をユーザが 1 つずつ選び、カプセルを構成する。

例えば、ある 1 つの文章ファイルがあるとする。この文章ファイルを PC の画面に出力する場合は、その文章ファイルと対応したカプセルのデータ部分を用意し、それを「表示」タスクと対応したカプセルのタスク部分とつなげて組み合わせる。そして、組み合わせたカプセルを PC のカプセル接続スロットにセットすることで、その PC が文章ファイルをディスプレイに全画面表示する。一方、この文章ファイルの内容を編集する場合は、カプセルを接続スロットから取り外し、「表示」のタスク部分を「編集」のタスク部分に切り替える。そして同様に、接続スロットにセットすることで、PC が文章ファイルを編集ソフトで開く。

この例では、タスク部分はアプリケーションの起動アイコンと対応している。つまりカプセルが、ファイルアイコンのポインティングとそのファイルアイコンをアプリケーションのショートカットアイコンの下へドラッグして実行するという操作の手順と対応している。データ部分とタスク部分を組み合わせたカプセルはコンピュータ操作を発動するトリガとなり、接続スロットにセットすることでそれが実行される。

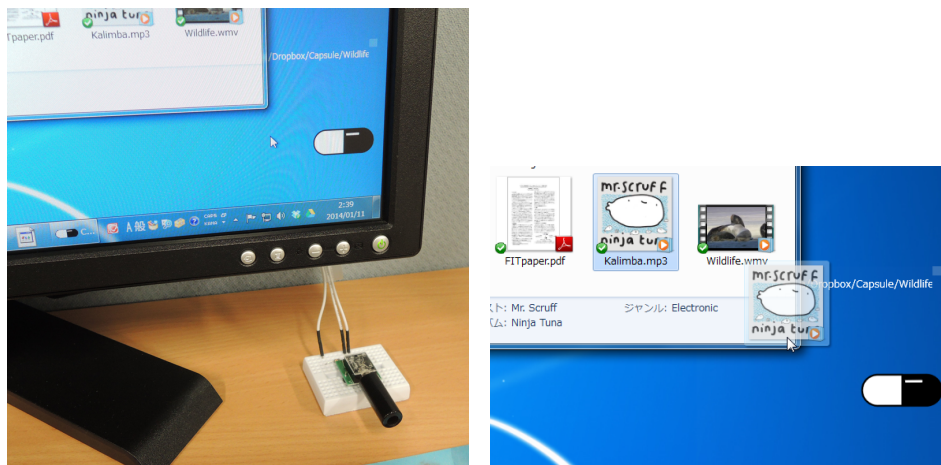
また、タスク部分は、アプリケーションのショートカットアイコンのみではなく、例えば、「pdf 化」や「印刷」などの機能と対応するものがある。コンピュータ操作を簡略化・単純化する効果はもちろん、カプセルを他人に手渡して、扱う形式を指定してデジタル情報のやりとりを可能にすることもできるだろう。

3.5.2 出力装置の操作

プリンタやスピーカ、ディスプレイのような出力装置には、データ部分接続モジュールが装備されている。音声や動画、文章などのファイルが対応したカプセルのデータ部分をこの接続モジュールにつなぐと、その出力装置がデータ部分のファイルを出力する。音楽ファイルと対応したデータ部分をスピーカに接続すると、そのスピーカから音声再生される。動画ファイルや文章ファイルと対応するデータ部分をディスプレイの接続モジュールにつなぐと、そのディスプレイに再生・表示される。プリンタの場合は、画像や文章ファイルと対応するデータ部分をつなぐと、そのファイルが印刷される。

3.5.3 データ部分の割り当て変更

データ部分と対応しているデジタル情報は、任意のものに随時変更できる。割り当て変更モジュールにデータ部分を1つ接続すると、PCの画面上にカプセルのアイコンが表示される。そして、新しく割り当てたいファイルのアイコンをドラッグし、カプセルのアイコンのもとへドラッグすると、データ部分と対応するファイルが更新される（図3.8）。



(a) 外観

(b) ドラッグして割り当て更新

図 3.8: 割り当て変更モジュール

3.5.4 実物体アイコンの管理

データ部分はPC保存されているファイルが、実体を持って有形化したものである。このデータ部分の現実の道具として管理すれば、デジタル情報を現実空間に保管するような使い方もできる。

例えば、プリンタのドライバファイルを対応させたデータ部分を、プリンタの備品として引出しなどに他の備品と一緒に管理することも可能である。プリンタの用紙やトナーと一緒にドライバというコンピュータファイルを保管するという扱いは、実体を持つデジタル情報にのみできる活用方法である。

また、タスク部分はコンピュータの操作を実物体化したものである。普段よく使う機能、あまり使わないが手順が面倒な機能などをタスク部分として用意すれば、ホットキーのように、コンピュータ操作を補助するものとして活用できる。

例えば、プレゼン資料に用いるパワーポイントのプレゼンファイルには、複数の利用形態がある。編集のためにソフトで開くことや、それを全画面でディスプレイに表示させること、紙に印刷することなど、1つのファイルでもその扱いは状況によって異なる。これを、プレ

ゼンファイルのデータ部分と各操作のタスク部分を用意すれば、PC の操作の切り替えなどで手間取る必要はなくなり、より確実に簡単なデジタル情報の活用方法が実現する。

第4章 システムの実装

4.1 環境の構成

本研究が提案する、カプセル型実物体アイコンとそれを用いた情報環境を実現するにあたり、以下の要素を実現する。

- 物理的に組み合わせることができ、デジタル情報と対応する実物体アイコン
- カプセルやデータ部分の接続検出と識別が可能な接続モジュール
- カプセルとデジタル情報の対応付け機能
- 複数の PC や出力装置をカプセルで制御できる連携機能

カプセルの検出は、検出回路の電圧出力や認識のためのセンサの出力をマイコンに入力し、この値をもとに識別する方法で実装した。入出力の流れは、図 4.1 のようになる。マイコンが検出した実物体アイコンの情報は PC に送信され、カプセルで指定した操作の実行やデータ部分と対応するファイルの出力などの操作を実行する。

データ部分は、その内部にそれぞれ固有の回路を内蔵しており、マイコンを使って回路や電圧出力を読み取って検出・識別している。また、タスク部分の検出と識別には、カプセル接続スロットの内部にカラーセンサを取り付け、タスク部分の外側の色を読み取って行う。

カプセルとデジタル情報の対応付けは、データ部分やタスク部分それぞれをストレージにするのではなく、データ部分にはコンピュータに保存したファイルのパスを、タスク部分には、アプリケーションの起動や特定の操作手順などに対応させている。また、複数端末間での情報共有は、オンラインストレージを使って、複数端末間でデータを共有させ、その共有されたデータと実物体アイコンであるデータ部分が対応することで実現した。

本章では、プロトタイプシステムの実装方法や使用した器具及びソフトウェアについて説明する。

4.2 ハードウェア

プロトタイプで使用したマイコンには、ARM 社の mbed NXP LPC1768 を使用した。mbed は、データ部分が内蔵する検出回路の電圧出力や、カラーセンサを使ったタスク部分の色検出結果、入力ポートの識別を行う。

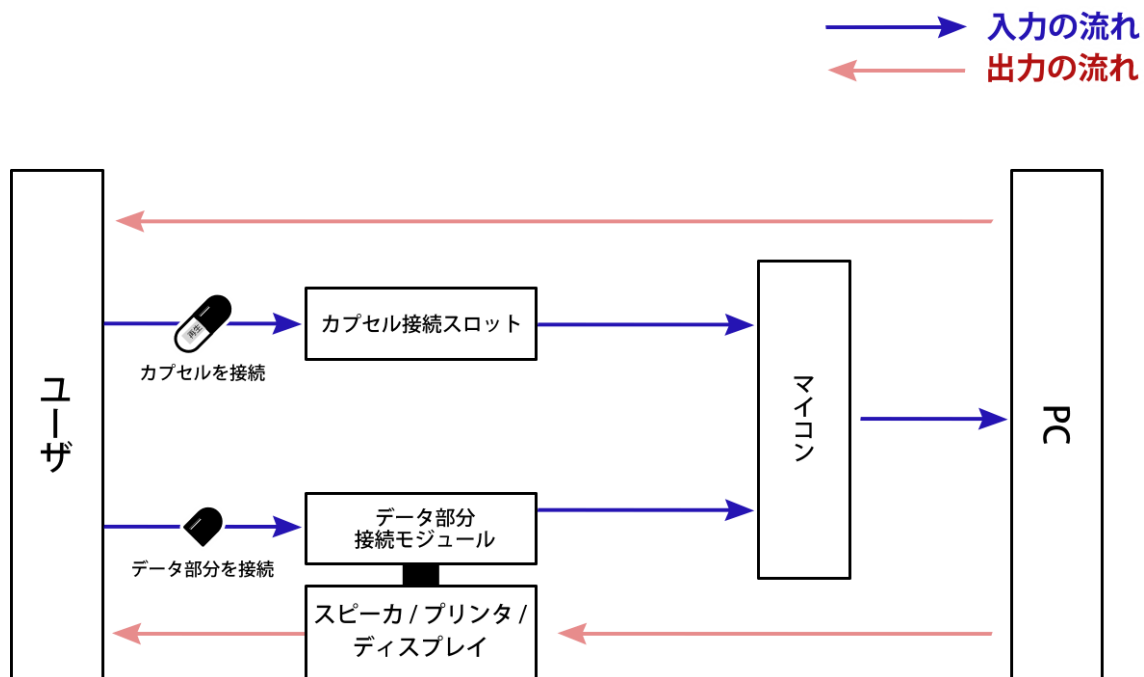


図 4.1: システムの構成

マイコンを使ったカプセルを使ったコンピュータ操作の実行アルゴリズムは、図 4.2 のようになる。データ部分を出力電圧を計測して検知し、その電圧を入力する mbed の入力ピンの判定によってタスク部分や各接続モジュールの機能が切り替わる。

実物体アイコンのデータ部分とタスク部分は、主に音楽用途で用いられる 3.5 mm フォンプラグとジャックを用いて実装した。フォンプラグ（オス側）をデータ部分、フォンジャック（メス側）をタスク部分とし、フォンプラグをフォンジャックに挿入することで、データ部分とタスク部分を組み合わせたカプセルが完成する。カプセルの大きさは、人が持ち運びが自由にできるほど小さく、片手でつかんで扱える程度には大きくなるようにした。データ部分は全長 4 cm（プラグ部分 1.5 cm）、タスク部分は 3 cm であり、この 2 つを組み合わせたカプセルの全長は 5.5 cm になる。

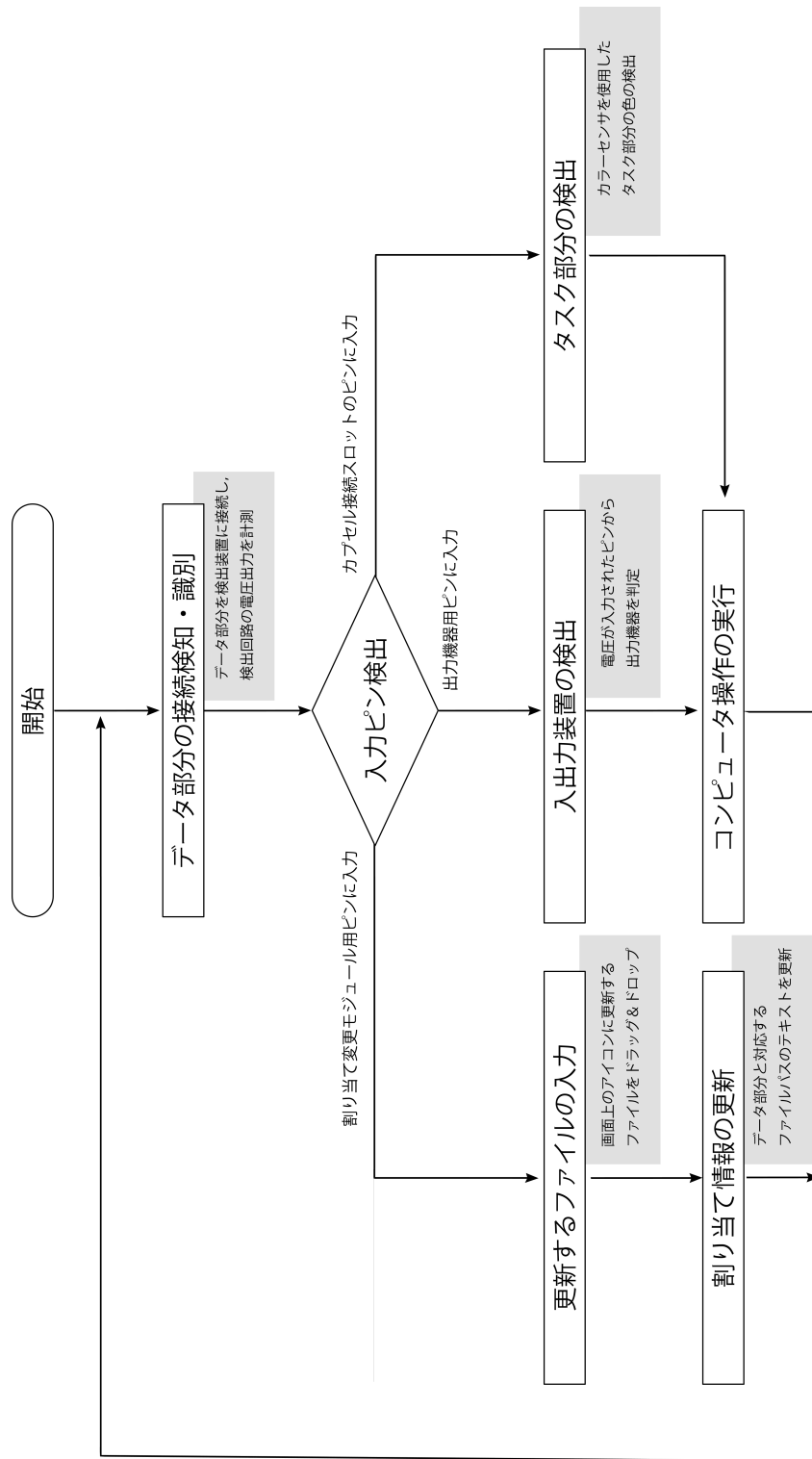


図 4.2: コンピュータ操作実行の流れ

4.2.1 データ部分

データ部分は、内部に固有の抵抗が接続された回路を内蔵している。プロトタイプのデータ部分は3種類あり、 $51\text{ k}\Omega$ 、 $200\text{ k}\Omega$ 、 $330\text{ k}\Omega$ の抵抗を使用した。

3.5mm フォンプラグの内部構造は、図 4.3 のようになっている。タスク部分やデータ部分接続モジュールに電氣的に接続する1～3の端子部分は、1'～3'の部分と通電している。3'と1'を繋ぐように抵抗を配線し、3の端子から入力し、IDとなる抵抗を通過して1の端子から出力する回路になっている。

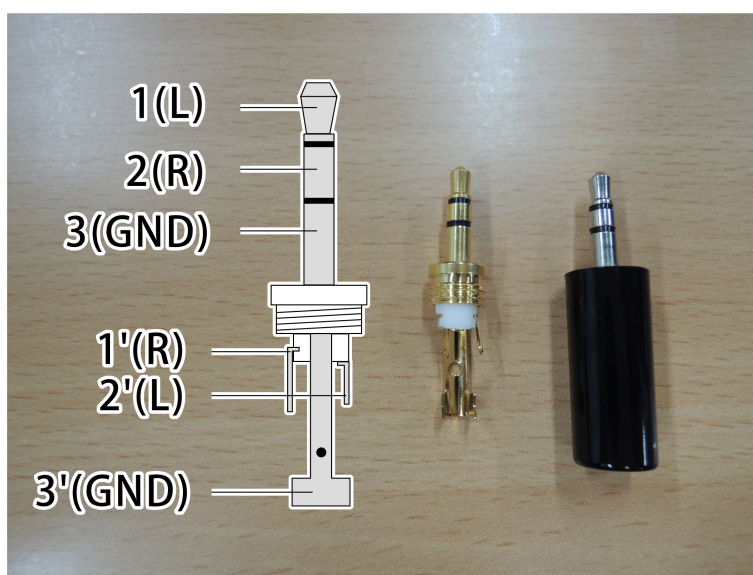


図 4.3: カプセルのデータ部分と内部構造図

mbed とデータ部分の接続回路は、図 4.4 のようになっている。データ部分の接続されると、その接続がスイッチの役割を果たし、mbed のアナログ入力端子にデータ部分内部の回路の電圧が入力される。

4.2.2 タスク部分

タスク部分は3.5mm フォンジャックで実装した。データ部分のプラグを差し込むジャックがあり、データ部分の端子を挿入することで物理的に組み合わせることができる。タスク部分の内部には、データ部分の出力電圧をマイコンに送信するためのジャンパーピンを2極持つ（図 4.5 (a)）。

データ部分とタスク部分をつないだカプセルの内部回路は、図 4.5 (b) のようになっている。タスク部分側の2極のピンはデータ部分の内部回路への入力と出力のためのものである。一方のピンから、mbed の入力電圧がデータ部分がデータ部分回路へ短絡し、データ部分の出力電圧をもう一方のピンから出力する。

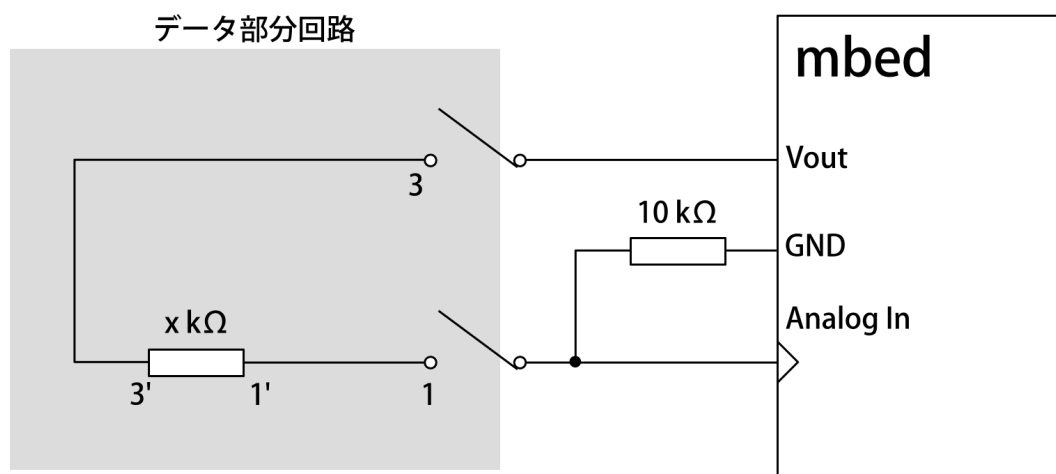


図 4.4: カプセルのデータ部分検出回路

タスク部分の認識は、カラーセンサで外観の色を認識することで行っている。試作では、赤色、緑色、青色の 3 種類を用意し、それぞれが再生や編集などのコンピュータ操作を割り当てて使用した。カラーセンサはカプセル接続スロットが内蔵しており、スロットにカプセルをセットすることで、タスク部分の色が自動的に識別される。

4.2.3 実物体アイコンの検出装置

PC にはカプセルを接続するカプセル接続スロット、割り当て変更モジュールやデータ部分接続モジュールには、データ部分の実物体アイコンをそれぞれ接続する。カプセル接続スロットにカプセルをセットする際、データ部分の内部の ID（抵抗）の識別と、タスク部分の色の認識を行う必要がある。割り当て変更モジュールやデータ部分モジュールでは、データ部分の内部の ID（抵抗）の識別を行う必要がある。以下、それぞれの実装について記す。

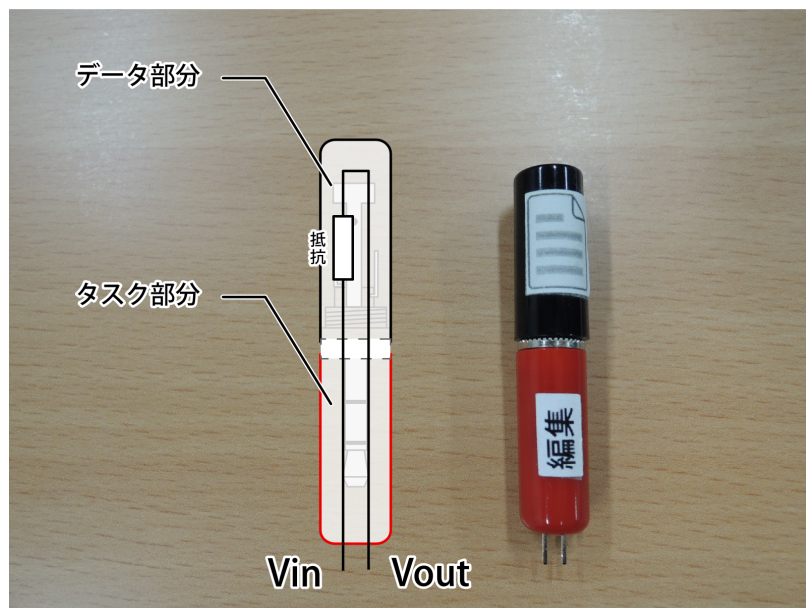
カプセル接続スロット

カプセル接続スロットは、カプセルを置くためのくぼみがついた台座になっている。この台座はアクリル板を加工して作成し、内部にカラーセンサと LED を内蔵する基盤を取り付けた。カプセルの 2 極のピンにワイヤを取り付け、台座の V 字型のくぼみにカプセルを乗せるとカプセルのセットが完了する。このタイミングで、カプセルのコンピュータ操作を実行する。

この台座の内部には、図 4.6 に示すように、カラーセンサと白色 LED が内蔵されている。台座にカプセルをセットすると、カラーセンサが自動的にタスク部分の色を読み取って認識する。カラーセンサには、浜松ホトニクス社のデジタルカラーセンサ S9706 を使用した。S9706 は、 9×9 のフォトダイオードがモザイク形状に配置されており、各素子がオンチップフィルタによって R（赤）G（緑）B（青）の 3 色の感度のいずれかを持っている。S9706 は高感



(a) タスク部分



(b) カプセルの内部回路

図 4.5: カプセル接続スロット

度モードで使用し，積算時間は 10 ms とした．センサの RGB 各要素の出力値から，閾値処理をしてタスク部分の色を判定している．

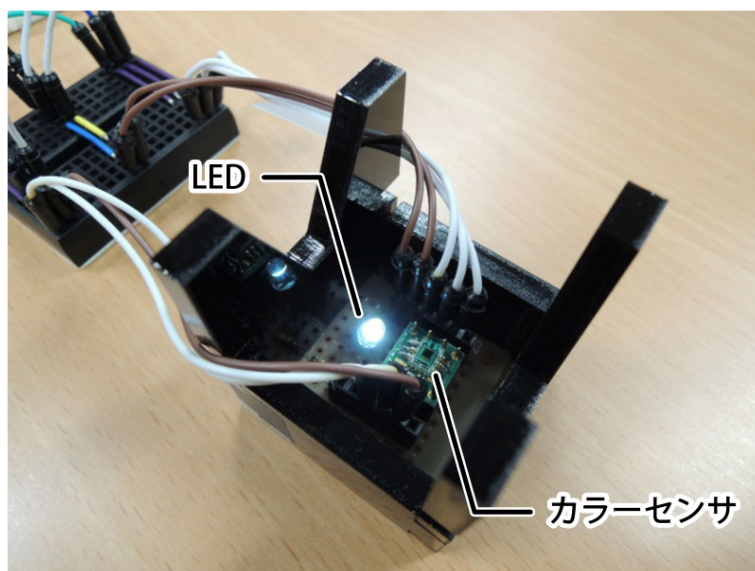


図 4.6: タスク部分識別機構

カプセル接続スロットの内部は，図 4.6 のようになっている．接続スロットの内部にはカラーセンサーと白色 LED を取り付けした基盤が内蔵されている．カラーセンサとセットしたカプセルとの間には 1 cm ほどの空間があり，タスク部分を白色 LED で照らし，その反射光をカラーセンサのフォトダイオードが受光することで色を識別する．

データ部分接続モジュール

データ部分のみを接続するための割り当て変更モジュールを作成した．割り当て変更モジュールは，データ部分と対応するファイルを，ユーザが任意に指定した別のファイルに更新するために用いる接続モジュールである．

出力装置接続モジュールは，プリンタ，スピーカ，ディスプレイのような出力装置をデータ部分と組み合わせるものである．データ部分のファイルと各出力機器を連係させるために用いる接続モジュールである．この 2 つはいずれも，データ部分の接続を図 4.4 と同様の回路で検出する．

2 種類の接続モジュールは，タスク部分と同様に，データ部分と接続できるような 3.5mm フォンジャックを備えている．また，データ部分が接続されたモジュール識別は，あらかじめデータ部分の出力電圧を読み取る mbed の入力ピンをデータ部分接続モジュール専用割り当てておき，電圧が入力されたピンを判別することで行っている．

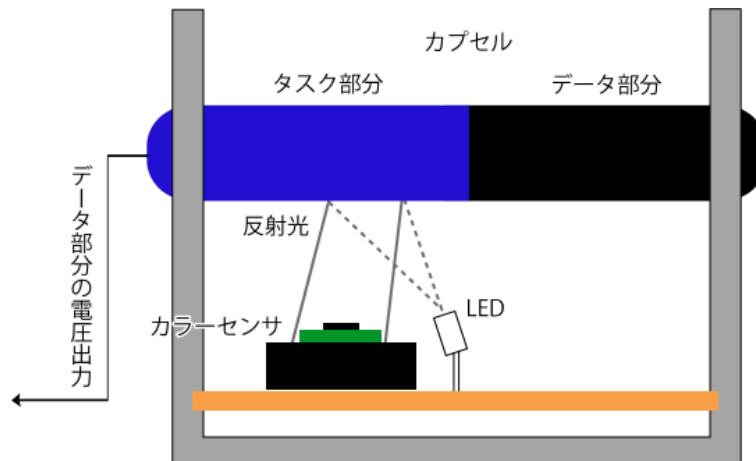


図 4.7: カプセル接続スロットの内部構造

4.3 ソフトウェア

本節では、mbed 制御プログラムによるカプセルの検出ソフトウェアや、mbed と通信する PC 側のアプリケーション制御プログラムによるコンピュータ操作の実行など、プロトタイプシステムのソフトウェア部分について述べる。

4.3.1 マイコンの制御

mbed の制御プログラムは、C++を用いて mbed オンライン IDE 上で開発した。mbed 制御プログラムは、以下の処理を実行している。

- データ部分検出回路の出力電圧の計測
- カラーセンサの動作制御と色判定

PC と接続した mbed は、計測したデータ部分検出回路からの出力電圧やカラーセンサが計測した色情報は、PC のアプリケーション制御プログラムへシリアル通信で送信する。

データ部分検出回路は mbed のアナログ入力ピンに電圧を出力する。その結果は、表 4.1 のように示される。表 4.1 は、小数点第 5 位を四捨五入したものである。mbed のアナログ入力ピンの出力値は 0 ～ 1 の数値で表現され、これは 0.0V ～ 3.3V に対応する。データ部分接続回路の出力は表 4.1 に示す値付近で振動するため、閾値処理によって範囲を定めることで、出力電圧の値からデータ部分の抵抗を識別する。

4.3.2 アプリケーション制御プログラム

アプリケーション制御プログラムは、mbed 制御プログラムから受信した電圧出力やカラーセンサの出力の情報をを用いて、以下の操作を実行する。

表 4.1: データ部分検出回路の出力値

内部の抵抗	出力値	電圧 [V]
50 k Ω	0.1621	0.5349
200 k Ω	0.0463	0.1528
330 k Ω	0.0272	0.0898

- 認識したカプセルが指すコンピュータ操作の実行
- データ部分の抵抗やデータ部分が接続した出力機器への出力
- オンラインストレージ上のデータへのアクセス，アップロード

PC 側のアプリケーション制御プログラムは，Visual Studio 2010 を用いて C# で実装した．mbed 用プログラムがアプリケーション制御用プログラムにデータ部分検出回路やカラーセンサの出力を送信し，この入力をトリガとしてアプリケーションの起動などの操作を実行する．

デジタル情報の割り当て

カプセルのデータ部分とタスク部分は，どちらも実際に内部にメモリを保持するストレージの構造をしているのではない．ID の役割を持つ抵抗や色をもつだけであり，この ID に PC のファイルやコンピュータ操作などのデジタル情報を割り当てている．特にデータ部分は，デジタル情報の見かけの保存先 [22] としての意味を持ち，実体を持つデジタル情報として活用するものである．

実装したアプリケーション制御プログラムでは，カプセルを使ってコンピュータ操作を実行するために，ファイルのディレクトリのパスとそのファイルを開くためのアプリケーションの 2 つを指定する．したがって，データ部分には対応させるファイルのパスが，タスク部分にはアプリケーションや一連のコンピュータ操作を実行するバッチファイルが，それぞれ対応している．また，データ部分を出力装置に接続した操作を実行する場合は，出力装置がタスク部分と同様にファイルを開くアプリケーションに対応している．各実物体アイコンとデジタル情報の対応を，表 4.2 にまとめる．

表 4.2: 各実物体アイコンとデジタル情報の対応

名称	対応するデジタル情報	割り当てた情報・操作
データ部分	コンピュータ内のファイル	ファイルパスのテキスト
タスク部分	ファイルに対して実行する操作	アプリケーション，バッチファイル
スピーカ	情報の音声を出力する操作	Windows Media Player で再生
プリンタ	情報を紙に印刷する操作	プリンタの指定と印刷
ディスプレイ	情報を映像・画像で提示する操作	Windows Media Player で再生

特に、プロトタイプで試作したタスク部分は、「表示」「編集」「pdf化」「印刷」の機能を用意した。「表示」は、データ部分のファイル形式によって実行するアプリケーションが切り替わる。動画ファイルであれば再生ソフトでファイルを開き、画像であれば画像ビューワでファイルを開く。文章ファイルであれば、pdf変換したものを表示する操作を行う。「編集」を使うと、それぞれ動画編集ソフトやテキストエディタ等で、ファイルを編集するアプリケーションでファイルを開く。「pdf化」や「印刷」といったタスク部分では、それぞれの操作を実行するバッチファイルがデータ部分のファイルに対して実行される。また、データ部分のファイルに対応していないアプリケーションと対応するタスク部分や出力装置を組み合わせた場合、コンピュータ操作は実行されない。

データ部分の割り当ての変更

データ部分やタスク部分、出力機器のデジタル情報との対応は、あらかじめ設定されており、それらの組み合わせによって実行する機能が切り替わる。ここで、データ部分と対応するファイルは、PCが備える割り当て変更モジュールと接続し、PC側の操作で動的に変更することができる。

割り当て変更モジュールにデータ部分を接続すると、PCの画面上にカプセルのアイコンが表示される。このアイコンに、新しく割り当てたいコンピュータのファイルのアイコンをドラッグ&ドロップすることが、割り当ての更新操作になる。ドラッグできるアイコンはファイルのアイコンのみで、アプリケーションのショートカットやディレクトリアイコンには対応していない。

複数端末間の連携

PCやmbed、カプセル接続スロットを複数用意すれば、複数の端末間カプセルを使った操作がシームレスに実行できる。この時、データ部分と対応するコンピュータのファイルが端末間で共有されている必要があるが、これはDropBox, Inc. が提供するオンラインストレージサービスのDropBox[23]を使って実装した。

カプセルやデータ部分を使って操作するPCには、DropBox上で共有するディレクトリをそれぞれが持つようにしておく。データ部分と対応したデジタル情報は、自動的にDropBox上で共有されるディレクトリにコピーされるようにした。データ部分にコンピュータのファイルを割り当てると、カプセルやデータ部分を使って操作できるPCすべてにデータが共有され、別のPCでも実物体を使ったコンピュータ操作が実行できる。

手元にある実体を持つデジタル情報のアイコンを使い、それを別の端末のもとに持っていくことでデジタル情報の移動や実行が直感的に行える操作環境が実現する。

第5章 議論

5.1 関連研究と本手法の比較

本章では、本研究が提案するカプセル実物体アイコンと2章で挙げた実物体インタフェース研究と比較して考察し、カプセル型実物体アイコンの効果や展望について述べる。

5.1.1 実体を持つデジタル情報

2.1.1 で挙げた研究は、コンピュータのファイルやその機能などといったデジタル情報を実物体に対応させ、実体を与えることで現実世界で作用する実物体アイコンを実現させるものだった。この現実世界で機能する実物体アイコンの目的は、仮想世界にあるデジタル情報に現実世界と関連付ける要素を取り入れ、デジタル情報を現実世界で再構築することだった。

文献 [3] の **MediaBlocks** では、複数の端末・出力装置におけるデジタル情報に関する操作をブロックの扱いに置き換えた。ブロックを機器のそばへ移動させて取り付けるという行為がデジタル情報の送受信を意味しており、現実世界での直感的なデジタル情報のやり取りを実現した。文献 [4] の **IconSticker** は、紙の実物体アイコンにメモを記入することや、デジタル情報と対応する現実世界のものに実物体アイコンを張り付けることを通して、デジタル情報の管理・取扱方法を、紙という実物体の取り扱いに差し替えた。また、[6] をはじめとする実物体アイコンの応用例についても、デジタル情報を現実世界のメタファを取り入れたアイコンとしての役割を持っている。

一方、カプセル型実物体アイコンも同様に、コンピュータの中にあるデジタル情報をカプセルという実体を持たせ現実世界に取り出している。データ部分の取り扱いについては、**MediaBlocks** の発想に近い。コンピュータのファイルが実物体に対応し、それを端末に接続することでその情報を出力することが可能である。また、データ部分にラベルを張り付けたり、データ部分の配置などを工夫することで、**IconSticker** のような現実世界ならではのデジタル情報の管理方法も取り入れることができる。これらの先行研究例が実現する実物体アイコンの機能や役割を、データ部分の機能がカバーしている。

5.1.2 コンピュータ操作の実物体化

2.1.2 で紹介した、文献 [10][11] や文献 [12] などのような、日用品などの実物体のアフォーダンスを取り入れたインタフェースシステムは、デジタル情報の扱い方に実物体のメタファを割り当て、コンピュータ操作を実物体化したものと言える。

仮想世界のデジタル情報に実物体を使ってアクセスするこれらの手法に対し、カプセル型実物体アイコンは、デジタル情報そのものを取り出し、現実世界でそれを扱うというアプローチを採用している。もちろん、カプセルやデータ部分は、実際にコンピュータに保存されているファイルそのものが現実には登場しているのではない。実物体アイコンはあくまで、現実世界におけるデジタル情報の依り代であり、データの本体はコンピュータ内に残ったままである。しかし、人間がそれを扱うインタラクションにおいて、カプセルをつなげて組み合わせたり、カプセル接続スロットにセットして出力するような操作において、人間とデジタル情報を現実世界でインタラクションしていると言えるだろう。

5.1.3 映像装置と組み合わせる研究

2.1.3 で述べた文献 [16] の DataTiles や文献 [17] の Tangible Remote Controller をはじめとした映像と実物体を組み合わせる手法は、多彩で汎用的な機能を備えたコンピュータの利用方法に対応するための手法として、研究されるようになってきたものである。この手法とカプセルを使った操作手法との差異は、人間とデジタル情報とのインタラクションモデルに現れる。

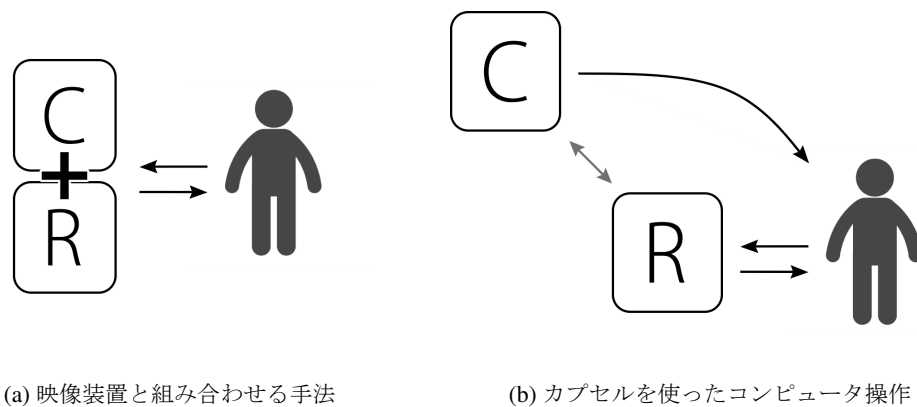


図 5.1: インタラクションモデルの違い

映像装置を組み合わせた手法とカプセルを使った手法のインタラクションについて、現実世界とデジタル情報との関わりから表したモデルを、図 5.1 に示す。図中の R と C はそれぞれ現実世界 (Real) とコンピュータ (Computer) を表し、矢印はインタラクションの流れを表している。図 5.1(a) では、映像 (C) と実物体 (R) を組み合わせたインタフェースを通して、デジタル情報にアクセスする。一方で、図 5.1(b) のカプセルを使った手法では、人間は現実世界で実物体であるカプセルとインタラクションすると、カプセルがコンピュータからデジタル情報を出力するトリガとなり、間接的にコンピュータからの出力を得ることができる。デジタル情報の実物体化であるカプセルとインタラクションすることは、人間とデジタル情報が仮想的にインタラクションできる操作環境を実現する。

5.1.4 総括

2章で挙げた関連研究の各手法と、本研究が提案するカプセル型実物体アイコンについて、機能や性質を比較すると、表 5.1 になる。表 5.1 において、2.1.1 のような実物体アイコンを用いる研究を手法 1、2.1.2 のような実物体のインタフェースデバイスを用いる研究を手法 2、2.1.3 のような実物体と映像装置を組み合わせた研究を手法 3 とする。

表 5.1: 実物体インタフェース研究とカプセルの比較

	手法 1	手法 2	手法 3	カプセル
機能の汎用性	△	×	◎	○
学習コスト	○	◎	△	○
細かい操作	△	○	◎	△
現実と仮想の乖離	低い	低い	高い	低い

表 5.1 は、列が関連研究の各手法と本研究が提案するカプセル型実物体アイコンの操作手法を表す。行は、比較する項目を示している。より効果のある評価から「◎」「○」「△」「×

などの項目で評価する。

項目 1 の機能の汎用性は、各手法の操作体系において、実物体を使って実行できる機能の汎用さを指す。手法 1 手法 2 は、特定の機能が割り振られた実物体を活用する操作環境を実現するものである。1 つの実物体で可能な操作は 1 つであり、汎用的な操作には向いていない。特に手法 2 は、専用の操作や機能に特化したインタフェースデバイスの実現を目指したものであり、汎用性を必要とする操作には適応されない。手法 3 は、映像装置を組み合わせにより提示する情報の変更が容易なため、対応できる機能は他手法と比べ広がる。カプセルを使った本手法は、1 つの実物体に与える役割は 1 つだが、それらを組み合わせることで実行する操作の切り替え機能を実現し、汎用的な操作への対応している。

項目 2 は、実物体を使った操作を活用できるよう覚えるまでに必要な、学習コストについての項目である。手法 1 やカプセルでは、実物体アイコンによって手に取って触れるインタフェースの実現によって、直感的に理解できるインタフェースが実現する。手法 2 は、実物体を使ったインタフェースデバイスが、コンピュータ操作に対し人間にとってなじみのある道具のメタファを用いて置き換えており、直感的なインタフェースを実現することができる。手法 3 は、実物体による操作は直感的に理解できるが、映像を確認しながら実物体を操作する必要があるためコンピュータ操作の側面が残ってしまう。

項目 3 は、実物体を使ってできる操作の細かさの評価である。ここでいう細かい操作とは、パラメータの調整や完了までに多数のステップが必要になるもののような操作と定義する。手法 1 とカプセルでは、実物体は、コンピュータに何らかの操作を実行させるトリガとしての役割を持っている。実物体を使ってできるデジタル情報の操作は、コンピュータ操作の発動が主な役割であり、手法 2 手法 3 のような、起動後の操作などにも対応することは難しい。

項目 4 は、人間がいる現実世界とコンピュータの仮想世界の乖離の項目である。人間とデジタル情報の乖離について、インタラクションの判断から 4 つの手法を相対的に評価する。実

物体インタフェースを導入することは、コンピュータを操作するために必要な操作体系を現実世界で完結させ、現実世界と仮想世界の乖離を少なくするためのアプローチであった。手法3は、携帯端末やテーブルトップシステムなど、映像提示装置と実物体を組み合わせる汎用的な操作に対応できるようになる半面、インタフェースにはコンピュータとしての使用感をユーザに与えてしまうことになる。この手法は、ユビキタスコンピューティングのような、意識せずデジタル情報を活用できるようなコンピュータの利用環境と矛盾することになる。その結果、現実世界と仮想世界の乖離は、他の3手法に比べると高くなる。

これらの違いを踏まえると、実物体型アイコンであるカプセルとそれを用いた操作手法は、手法1の実物体アイコンを用いる操作環境に、汎用性を拡張したもととして位置付けられる。手法1において、実物体が持つ役割は1つに限られていた。これはあえて1つに限っていたものでもあり、その結果ある機能に特化する専用インタフェースとすることで、私たちになじみのある現実世界の扱いでデジタル情報を直観的に扱えるようにするものであった。本研究はこの実物体インタフェースの役割を、実物体インタフェースがポストGUIのアプローチとして発展させるためのものとして再検討したものである。ユビキタスコンピューティング時代の到来という背景も考慮し、実物体インタフェースが現在普及しているGUIのインタフェースシステムの延長線上に位置づけられるようにするには、単機能として特化するだけでなく、GUIのような汎用的な操作に対応する機能を備えていくことが望ましい。そして本研究は、実物体アイコンの組み合わせによって、コンピュータ操作に広く対応できる実物体を用いたインタフェースシステム、カプセル型実物体アイコンを提案した。実物体それぞれは1つの役割を持つものだが、コンピュータのデータを示すデータ部分に対し、操作や実行形式の切り替えを実物体で行うことによって、実物体を使った現実世界に閉じたインタラクションにおいて、汎用的なコンピュータ操作に対応している。この汎用性を備えた実物体アイコンの実現が、本研究の新規性である。

5.2 カプセル型実物体アイコンの課題

カプセル型実物体アイコンは、実物体アイコンがポストGUIとして発展していくためのアプローチとして、汎用性を取り入れた実物体アイコンの実現を目指したものだ。本研究で作成したプロトタイプは、カプセル型実物体アイコンを活用する状況として一般的なPCの利用環境を想定し、マウスやキーボードと併用しPC操作を補助するインタフェースシステムとして実装した。将来的には、GUIの操作体系と共存する今回の活用方法から、GUIの操作体系を代替できるものに発展させていくことで、意識されない、透明なコンピュータを実現するインタフェースになることができる。

カプセルは、既存の実世界指向インタフェース研究において、デジタル情報のアクセスやコンピュータ機能の発動という役目を持つインタフェースとして活用することが適切であると筆者は考えている。現在のような映像ディスプレイと向き合って入力デバイスを使ってコンピュータとインタラクションするコンピュータの操作環境ではなく、現実世界にデジタル情報が滞在しているような実世界指向インタフェース環境が実現すると、その環境には

人間の行動や現実の事物に関連した様々なインタフェースが存在している。例えば、文字入力や画像の撮影といった機能は、カプセルを使った操作ではなく、音声入力やジェスチャ入力などの方が人間にとってより自然に活用することができるだろう。カプセルは、実際は目に見えないデジタル情報のデータを、実物体化して人が扱える形式に再構築する役目を果たすことができる。人間はデジタル情報を手に取り、それを他人に手渡ししたり、身に着けたり、決まった場所にしまったりといった扱いが可能になり、現実世界の事物とコンピュータの仮想世界にあるデジタル情報の間に隔たりは存在していない。この役目が、カプセルの、実物体アイコンの役目として今後の実世界指向インタフェースを実現するアプローチとして位置付けられよう。

5.3 展望

意識せずに自在にデジタル情報を活用できる環境を目指すユビキタスコンピューティングのアプローチとして、デジタル情報を実体を持たせる実物体アイコンの研究がなされてきた。それは、実物体アイコンや実物体を使ったインタフェースデバイスを活用するものから始まり、より汎用的で高度な機能に対応するべく映像装置を併用する形に発展してきた。カプセルのような実物体の組み合わせで汎用的な操作に対応することは、意識しない、透明なコンピュータを実現するためのアプローチである。ユビキタスコンピューティングを HCI の側面から実現するアプローチとして、高度な機能、汎用的な機能を実世界に閉じたインタラクションで実現するという発想が、求められていくと考えられる。カプセル型実物体アイコンの提案は、そのアプローチを支持するもののひとつとして主張したい。

第6章 結論

6.1 本研究の成果

本研究では、コンピュータの汎用的な操作に対応できる、カプセル型実物体アイコンとそれを用いた操作環境を提案し、そのプロトタイプを試作した。一般的なPCの利用環境を想定し、コンピュータのファイルに対応するデータ部分を、コンピュータの操作やファイルの出力形式に対応するタスク部分、またはスピーカやプリンタ、ディスプレイといった出力装置につなげて組み合わせることで、コンピュータの操作を実行するトリガとして機能する。

実物体を用いたインタフェース手法の研究は広く行われている。現実世界の事物を取り入れたコンピュータの操作インタフェースを実現することで、コンピュータにおけるデジタル情報の取り扱いを、人間になじみのある形式に置き換えている。一方で、単機能で専門的なインタフェースに特化することが目的で導入される実物体インタフェースは、コンピュータの汎用的な機能に対応することが難しい。ユビキタスコンピューティングをはじめとした次世代のインタフェースシステムが今後さらに望まれるようになると考え、実物体インタフェースも、従来のGUIの操作体系に対応し、ポストGUIのアプローチとして発展していくことが必要になる。本研究は、その実物体インタフェース、特に実物体アイコンにおいて課題であった汎用的な操作への対応を目指したものだ。プロトタイプと従来の研究手法の比較により、カプセル型実物体アイコンは、コンピュータの操作インタフェースとして、実物体アイコンを汎用的な機能へ対応するものへ拡張するものであると考察した。

6.2 今後の展開

今後の課題として、カプセル型実物体アイコンによる操作環境が、コンピュータのユーザまたはその操作にどのような影響を与えるか、客観的な評価を行う必要がある。操作性や必要な機能など、実験結果から再度考察し、カプセルを使った操作体系を調整していく必要があるだろう。また、試作したカプセルや各接続モジュールの回路の見直しを行い、小型化や無線化などの改良も行いたい。

今回は、PCの利用環境を想定した、カプセル型実物体アイコンとそれを用いた操作環境のプロトタイプを実装した。携帯端末をはじめとしたコンピュータの利用環境に、実物体アイコンとして本研究が適応できる場面は多い。これらの可能性についても検討する必要がある。また、プロトタイプの実装では、3.5 mmのフォンプラグやフォンジャックを用いて実物体アイコンを実装したため、コンピュータ端末のステレオ端子を用いて実物体を認識させる拡張

も考えられる．スマートフォンなどのステレオ端子を用いた実装により，現実世界に取り出した実物体アイコンのさらなる活用場面が広がるだろう．

謝辞

本研究を進めるにあたって、懇切丁寧にご指導してくださった田中二郎先生，志築文太郎先生，三末和男先生，高橋伸先生に心から感謝申し上げます。お忙しい身にも関わらず、大変丁寧なご指導や助言をいただきました。また，学会発表などの研究発表の際には，数多くの助言や励ましの言葉をいただきました。博士前期課程に在学した2年間，研究を続けてこれたのもこれらのご指導によるものだと思います。

また，本研究を進めるにあたっての議論や，研究に関するアドバイスなどをいただいた嵯峨智先生，群馬工業高等専門学校の中田啓太先生，そしてインタラクティブプログラミング研究室の皆さんにも大変お世話になりました。感謝いたします。

最後に，本研究にご支援，ご協力くださったすべての方に心から感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Merk Weiser : “ The Computer for the 21st Century ” , Scientific American, 265 (3), pp. 94–104, 1991. (邦訳) M. ワイザー : “ 21 世紀のコンピュータ ” , 日経サイエンス, 1991.
- [2] 塚田 裕太, 田中 二郎 : “ カプセル型実物体アイコンを用いたコンピュータ操作手法 ” , FIT2013 第 12 回情報科学技術フォーラム, J-041, pp. 475–476, 2013.
- [3] Brygg Ullmer, Hiroshi Ishii, and Dylan Glas: “mediaBlocks: physical containers, transports, and controls for online media. ” Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. pp. 379–386, ACM, 1998.
- [4] Siio Itiro and Yoshiaki Mima : “ IconStickers: Converting computer icons into real paper icons ” , Proceedings of HCI International’99, pp. 271–275, 1999.
- [5] Wong Ho Ying : “ A Tangible User Interface Using Untagged Physical Objects for Information Management ” , Master’s Thesis, Graduate School of Systems and Information Engineeringin, University of Tsukuba, 2011.
- [6] 福地 健太郎, 杉本 麻樹, Charith Fernando, Shengdong Zhao, 稲見 昌彦, 五十嵐 健夫 : “ Push-pin: ピン型タグを用いたホームオートメーションのためのプログラミングシステム ” , インタラクシオン 2010 論文集, pp. 1–8, 2010.
- [7] Liang Rong-Hao, Kai-Yin Cheng, Liwei Chan, Chuan-Xhyuan Peng, Mike Y. Chen, Rung-Huei Liang, De-Nian Yang and Bing-Yu Chen : “ GaussBits: magnetic tangible bits for portable and occlusion-free near-surface interactions. ” Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, pp. 1391–1400, 2013.
- [8] 野上 僚司, 志築 文太郎, 田中 二郎 : “ 人物に関連付けられた物体によるコミュニケーションシステム ” , 第六回知識創造支援システム・シンポジウム予稿集, 日本創造学会, pp. 156–163, 2009.
- [9] 山下 淳, 末永 輝光, 葛岡 英明, 鈴木 栄幸 : “ 複数の文脈を設定できるアウェアネス提示デバイスの提案 ” , 情報処理学会研究報告, 2009-EC-13(8), pp. 1–7, 2009.

- [10] 池田 洋一, 木村 朝子, 佐藤 宏介 : “ 道具の持つアフォーダンスを利用した触覚フィードバックデバイス ”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 7, No. 3, pp. 339–345, 2002.
- [11] Ryan Arisandi, Yusuke Takami, Mai Otsuki, Asako Kimura, Fumihisa Shibata and Hideyuki Tamura : “ Enjoying virtual handcrafting with ToolDevice ”, Adjunct proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology, pp. 17–18, ACM, 2012.
- [12] Toshiyuki Masui, Koji Tsukada and Itiro Siio : “ Mousefield: A simple and versatile input device for ubiquitous computing ”, UbiComp 2004: Ubiquitous Computing, pp. 319–328, 2004.
- [13] Jamie Zigelbaum, Adam Kumpf, Alejandro Vazquez and Hiroshi Ishii : “ Slurp: tangibility spatiality and an eyedropper ”, Proceeding CHI '08 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp. 2565–2574, 2008.
- [14] 石井 裕 : “ タンジブル・ビットー情報と物理世界を融合する, 新しいユーザ・インタフェース・デザイナー ”, 情報処理学会誌, Vol. 43, No. 3, pp. 222–229, 2002.
- [15] 平野 光徳 : “ タンジブルユーザインタフェースとその応用例 ”, 電気学会誌, Vol. 124, No. 9, pp. 587–590, 2004.
- [16] Jun Rekimoto, Brygg Ullmer and Haruo Oba : “ DataTiles: a modular platform for mixed physical and graphical interactions. ” Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, pp. 269–276, ACM, 2001.
- [17] Yvonne Jansen, Pierre Dragicevic and Jean-Daniel Fekete : “ Tangible remote controllers for wall-size displays. ” Proceedings of the 2012 ACM annual conference on Human Factors in Computing Systems. pp. 2865–2874 ACM, 2012.
- [18] 加藤 邦拓, 宮下 芳明 : “ 紙窓: そこに置くだけで操作可能なカードインタフェース ”, 第21回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (Wiss2013) 予稿集, pp. 163–164, 2013.
- [19] 松畠 信貴, 赤池 英夫, 角田 博保 : “ 実世界オブジェクトへの機能拡張によるインタフェースの提案 ”, 第21回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (Wiss2013) 予稿集, pp. 197–198, 2013.
- [20] 大谷 和利 : “ GUI の期限と進化の概略 ”, 情報の科学と技術, Vol. 49, No. 12, pp. 632–638, 1999.
- [21] 楠見 孝 : “ インタフェースデザインにおけるメタファ: デスクトップから仮想空間、そして言語への回帰 ”, デザイン学研究. 特集号, Vol. 10, No. 1, pp. 64–73, 2002

- [22] Shigaku Iwabuchi, Buntarou Shizuki, Kazuo Misue and Jiro Tanaka: “Natural Storage in Human Body ” , Proceedings of 9th International Conference on Knowledge-Based & Intelligent Information & Engineering Systems (KES2005; LNAI 3684), pp. 430–436, 2005.
- [23] DropBox, Inc. “ DropBox ” <https://www.dropbox.com> (2014 年 1 月閲覧)