# Move-it：付箋紙に動きを与えるクリップ

## Move-it: A Paperclip System that Provides Actuation for Sticky Notes

○学　安　謙太郎（慶大）　Kathrin Probst（MIL）　杉本　麻樹（慶大）
Michael Haller（MIL）　稲見　昌彦（慶大／JST ERATO）

Kentaro YASU, Keio University, yasu@kmd.keio.ac.jp
Kathrin Probst, Media Interaction Lab, mi-lab@fh-hagenberg.at
Maki Sugimoto, Keio University, sugimoto@ics.keio.ac.jp
Michael Haller, Media Interaction Lab, mi-lab@fh-hagenberg.at
Masahiko INAMI, Keio University, inami@kmd.keio.ac.jp

"Move-it" is active paperclip system that transforms traditional paper into an active digital medium by adding content recognition and automated actuation. Each paperclip consists of a polyester plate and shape memory alloy (SMA) as an actuator, and photo-reflectors as sensors that recognize the ID each sheet of paper has. Every stroke can be tracked by Anoto pen and addressed to a unique page because each sheet of paper has a unique dot pattern for the capturing. The pen transmits the recorded strokes to the system, which then converts the strokes to digital text and classifies them. Whenever a paperclip is activated by the system, the SMA shrinks and provides us with real-time feedback through active physical deformation of the paper.

Our goal is to transform paper from a static medium into an active physical tool that provides real-time feedback for temporary storage, communication, and reminding.

***Key Words*:** Flexible Manipulator, Shape Control, Paper

## 1. 序論

### 1.1 はじめに

我々は覚えておきたいことや，誰かへのメッセージをPost-it®に書き込み，それを貼付することでその「場所」や「もの」に即時的に情報を付与したり，またそれを見ることで要件を思い出したりすることができる．この付箋紙に「動き」という機能を与えることができれば，動くことによってアノテーション効果を増大させるだけでなく，紙からの能動的な情報の提示，情報としての「動き」を貼り付ける，また設定した条件が満たされたときにのみ動作を提示させるなど，紙という慣れ親しんだインタフェースを用いて，インタラクティブな情報システムの構築が考えられる．

紙に書き込まれた文字と情報技術とを組み合わせ，「実世界指向型タグ」として利用するという発想は，紙と情報技術との融合を図る上でかねてから提案されてきた．紙に小型のRFID タグを取り付ける，または Anoto Pen 同様のデジタルペンを用いて紙に書き込まれた情報を共有する，などの研究がある[1][2].

これらに対し本研究では「コンピュータとつながった紙」ではなく「コンピュータの溶け込んだ紙」を考える．前者は紙に書き込んだ情報，もしくは紙によって変化，変質する情報をすばやくコンピュータに送る，またはコンピュータ側から認識することを可能にする仕組みである．つまり，入力やデータのやりとりに関して従来我々が慣れ親しんだ情報インタフェースの手法を取り入れたものであると言える．そのため，これらの手法では情報を操作する際，また閲覧，検索など，コンピュータの持つ利点を活かす場合には，それらの紙から離れ，ディスプレイやプロジェクタを介してコンピュータのもつインタフェースに従う必要がある．

これに対して本研究では触れられる情報や操作できる情報は限られるものの，ユーザは紙に書き込む，クリップによって場所にとりつける，剥がすという紙が持つ「受動的」な性質に加え，紙からの「動き」という「能動的」な情報を受け取れるようにすることにより，紙とインタラクションを行うことを可能にする．

### 1.2 Move-it

Move-it は付箋紙への書き込み，また付箋紙へ小型のクリップをとりつけることにより付箋紙からの動作の提示を可能にするシステムである（図 1）．本システムによりユーザは専用の付箋紙に書き込みを行うことで動作や条件の設定を即時的に行うことができ，さらに付箋紙を変更することで条件や設定の修正，また破棄することもできる．またそれを応用したアプリケーションとしてウェブ上の外部情報との組み合わせによる条件設定も可能であり，条件が揃ったときに，設定した通りの動きを場所のコンテキストに乗せて提示することが可能となる．

Fig. 1 Move-it

本稿では，場所のコンテキストに乗せてメッセージを伝える付箋紙に，さらに設定された条件に則して動きを提示する機能を与えるシステムとして，Move-it の動作の提示内容，および提示するタイミングの設定について，その制御手法，作動手法および応用可能性を示す．例えば本システムを用いて，アラームおよびスケジュールアプリケーション，SNS などと連携を行えば，付箋紙に時刻を書き込むだけで，スケジュールの到来を動作で知らせるような設定や，人名を書きこむことでその人物がログインしたことを動作で知らせるような設定を行うことができる．

そこで，複数のアプリケーションを構築し，それらのアプリケーションの使用環境やシナリオに則した速度，大きさで作動するように作動機構を構築し，アノテーションや動作提示に必要な要素や限界値を明らかにした．

## 2. システム構成

Move-it は付箋紙を作動させるクリップ部，ペンによる付箋

紙への書き込みを認識する入力部，双方をつなぎアプリケーションによる信号制御を行う制御用 PC，および Move-it 専用の付箋紙によって構成される（図 2）.

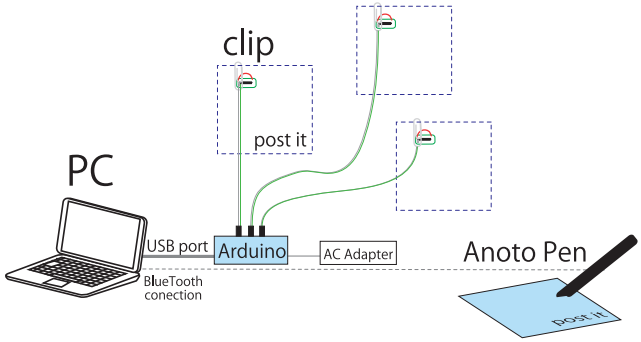


Fig. 2 System Configuration

ユーザが専用のペンを用いて付箋紙に書き込んだ文字情報は PC に送られ，パターン認識によって文字解析されたのち，システムに「作動条件」として登録される.

次にユーザが情報を書き込んだ付箋紙を Move-it のクリップに挟むと，クリップに埋め込まれたセンサが挟まれた付箋紙を識別し，システムによって登録された情報と付箋紙との「ひもづけ」が行われる.

「ひもづけ」が行われた付箋紙とクリップに対し，登録されている「作動条件」が満たされたとき，PC から作動部であるクリップに取りつけられている作動素子が電気制御によって作動し，付箋紙の動きとして提示される.

### 2.1 クリップ部

クリップ部の構成を以下に示す（図 3）. Move-it のアクチュエータは，チタンとニッケルの形状記憶合金をコイル状にしたトキ・コーポレーションの「バイオメタルヘリックス（以下 BMX）」を採用した. BMX は直径 0.15[mm]と髪の毛のように細い形状記憶合金を，直径約 0.62[mm]のコイル状にしたものであり，電流を流すと発生するジュール熱によって加熱され，70℃程度の温度状況で長さ方向に最大 50%収縮する．また，電流を止め，BMX の温度が下がれば元の形状に戻ろうとする．収縮の度合は BMX の温度に依存するため，流す電流によって収縮にかかる時間や収縮度合いを調整することができる.

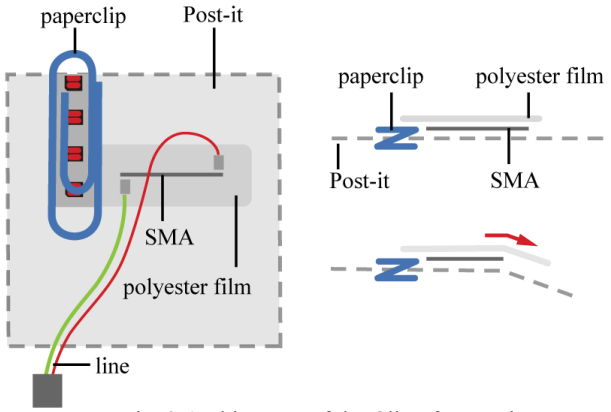


Fig. 3 Architecture of the Clip of Move-it

BMX を作動素子として採用した最大の選択理由はその収縮率にある．同じくトキ・コーポレーションによって販売されている形状記憶合金「バイオメタル・ファイバー（BMF）」もまた髪の毛のように細い形状記憶合金ではあるが，その収縮率は BMX の 50%に比べ約 4%にとどまる.

この BMX を制御する電流は制御用 PC から Arduino を通して供給され，複数あるクリップをそれぞれ独立に制御することができる. このとき, Arduino が供給できる電流は最大 50mA であるのに対し，BMX 一本あたりを作動させるのに必要な電流は 200mA 程度であるため，3.3V の電源を AC アダプタから別に用意し，Arduino ではそれぞれの BMX に流す電流のスイッチングを行うことで電流の on/off を切り替える設計になっている.

このとき，BMX の抵抗値は温度によって変動し，高温であればあるほど抵抗値は低下する．そのため電流を流し続ければ，温度が上昇しつづけ，最終的にはショートしてしまう．ショートを検出すると制御用の Arduino は機能停止するよう設計されているため，BMX の回路には最低限の抵抗値を担保するよう 0.1Ω の抵抗を接続した．また，この措置は同時に BMX の過加熱による破断，または収縮機能の喪失を防ぐ役割も担っている.

Move-it のクリップには通常時で 2cm，加熱時で 1cm になる BMX が薄いポリオレフィンのシートに取り付けた状態で組み込まれている．これにより，流していた電流を止めた際にポリオレフィンシートの弾性によって素早く元の状態へと戻すことができる．しかし，収縮の度合は温度に依存し，加熱は制御できるものの冷却は空気冷却に頼っており，環境温度によってその動作は多少の変動を免れない.

さらにクリップには付箋紙を識別するためのセンサが配置されている．センサにはフォトインタラプタ（コーデンシ㈱製 SG 105）を使用した．フォトインタラプタは大きさ約 2mm 四方，厚さ 1mm 程度の小さな筐体に赤外発光素子と赤外センサを組み合わせた素子であり，照射された赤外光の反射量を赤外センサから検出することで反射型距離センサとして用いることができる素子である．さらにこのとき，反射赤外光の量は反射する物体の表面の凹凸や模様，色に左右される．そこで本研究では，クリップに挟まれる付箋紙とセンサまでの距離が一定となる位置にグレーコードを印刷することで，それぞれの付箋紙の識別を行った（図 4）.

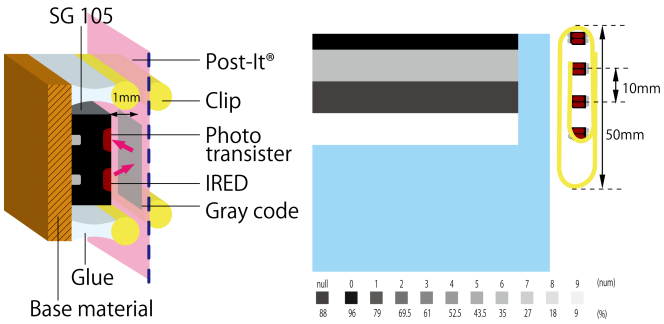


Fig. 4 Sensing System

赤外発光には変調をかけることで外乱光の影響も抑えることができ，これによって一つのセンサにつき黒から白までの約 10 段階のグレーコードを識別することが可能であった．そこで, さらにセンサを 4 つ備えた大型のクリップも構成した．専用の付箋紙裏面にはそれぞれのセンサに対応する位置にグレーコードが印刷されており，これにより 10 の 4 乗である 10000 種類の付箋紙の識別も理論上可能である.

### 2.2 入力部

文字の入力には Anoto Pen を使う．Anoto Pen はそのペン型の本体に Bluetooth 通信モジュール，メモリ，プロセッサ，電池および先端に小型カメラを備えたボールペンである．Anoto Pen 専用の紙には極小サイズのドットが約 0.3mm 間隔で印刷されており，そのドットの配置パターンは紙の位置によって固有である．このドットパターンをボールペン先端に配置されたカメラによって識別することで，紙のどの部位に「書き込み」が行われたかを記録，送信することができる．

Anoto Pen による入力は Bluetooth 経由で PC に送信されたのち，構築したプラグラムによってどのようなストロークが書き込まれたかを判別し，そのストロークの形状に基いて Microsoft の配布している手書き文字認識 SDK を用いてパターン分析され「文字」として認識される（図 5）．

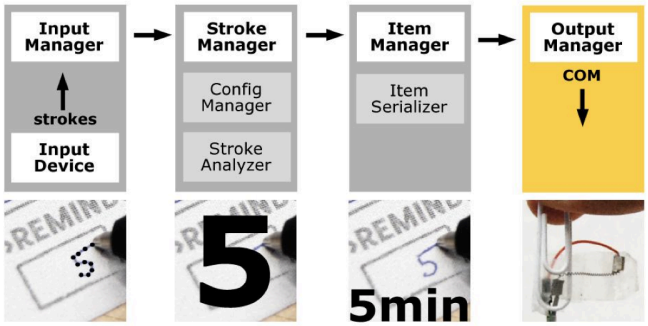


Fig. 5 Recognition and Actuation Algorithm

文字として認識された情報は Microsoft Office Outlook を始めとする個人情報管理ツールや Skype などの SNS アプリケーションと同期することが可能である．このとき，それぞれのアプリケーションに則した情報の入力，また入力位置をユーザに課すべく，アプリケーションそれぞれに応じた付箋紙をデザインする必要がある．

## 3. 作動

### 3.1 動く付箋紙の大きさ

Move-it のクリップは Post-it®と同サイズ, 75mm 四方の付箋紙を作動させることを前提として設計されており, 75mm 四方の付箋紙であれば，曲がっていない状態から付箋紙に 15 度程度の角度での動作なら最大で 3Hz，45 度程度なら 0.5Hz の周期での作動が可能である．また，45 度の角度で折り曲げた状態を数分間維持させることも可能である．一方で付箋紙よりも大きなサイズの紙, 例えば A4 サイズのコピー紙ではその重量によって作動させることは難しい．

### 3.2 アノテーション

Move-it の作動素子に形状記憶合金を使用したため，非常に静かに動作を提示することができる．これにより，静かな環境でも外環境に騒音をたてることなく視覚によるアノテーションを行うことができる．

これに対し, 人間の視覚特性から Move-it の動作がアノテーションに十分かどうかを検証する．動いていることを判別する閾値を最小運動閾（minimum motion threshold）といい，その値は時間周波数・空間周波数・コントラスト・および提示時間,また中心窩か周辺視野かによっても変動する[3][4].

Move-it の使用環境としては，その付箋紙が PC 周辺に貼られた状態や掲示板に貼られた状態を想定しているため，観察者から作動する付箋紙までの距離は最大でも 2m，明るい室内での作動であり，またその動きは周辺視野（被測定網膜偏心度 55 度）においても検出できるものが相応しい．この環境における最小運動閾は個人差もあるが，提示時間 1 秒間における最小運動距離閾で 20′程度と考えられる[5]．また，付箋紙の外周を黒い枠線で囲むことで，運動認識に有意な一定のコントラストを確保している．

これに対し Move-it によって使用する付箋紙の大きさは 75mm 四方であり，この付箋紙を折れ角 45 度，0.5Hz で作動させることができる．このとき，この付箋紙が折れ曲がることで 1 秒間に移動する付箋紙の端辺の移動距離は，距離にして約 11.7mm，視野角にして約 20.1′であり，最小運動距離閾を超えており，運動として認識しうると言える（図 6）．また，観察者がこの付箋紙までの距離が 2m よりも近い場合，または，より中心視野に近い網膜部位での観察を行った場合には確実に動作として検出されると考えられ，アノテーションとしては十分な量の動きの提示である．

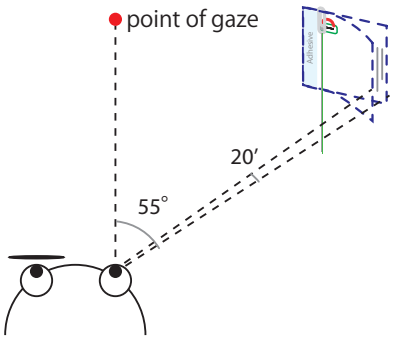


Fig. 6 Motion that is enough for Annotation

### 3.3 安全性

Move-it の実装では形状記憶合金は加熱時には 70℃程度まで加熱される．この温度ではポリオレフィンシートを溶解させることはなく，また紙を焦がしてしまうこともない．しかし，ユーザが直接触れれば火傷を負わせてしまいかねない温度ではある．

これに対し，Move-it ではまず紙とポリオレフィンシートの間に形状記憶合金が設けられており，偶発的にもユーザの肌に直接触れてしまうことを防いでいる．また，クリップ側に内蔵されたセンサによって，紙が挟まれているか否かを検出することができるため，何も挟まれていないとき，紙が取り外されたときには形状記憶合金に電流が流れることはないように設定でき，これによりユーザが加熱状態の形状記憶合金に触れることを防いでいる．

## 4. アプリケーション

本研究では Move-it のシステムを用い，Mind-it，Watch-it，Find-it と名付けた三タイプのアプリケーションを開発した．またそれぞれのアプリケーションで使用する専用の付箋紙を用意した．

### 4.1 デスクトップアプリケーションとの連携

「Mind-it」と書かれた付箋紙は，Outlook と同期しており，書き込むことで予定の入力から，その予定の到来を動作で知らせる設定を行うことまでもが可能である．ユーザはそれぞれの四角い枠内に予定の内容，時刻，さらに予定開始の何分前に作動させるかを書き込むことで動作の設定を行うことが出来る（図 7）．

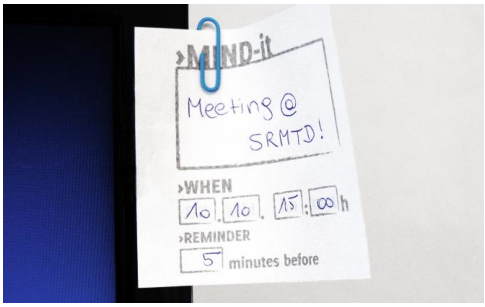


Fig. 7 Mind-it

「Watch-it」と書かれた付箋紙では，四角い枠内には Skype の友人のアカウント名を書き込むことで，その人物がオンラインのときは折り曲げて知らせるように設定することができる（図 8）.

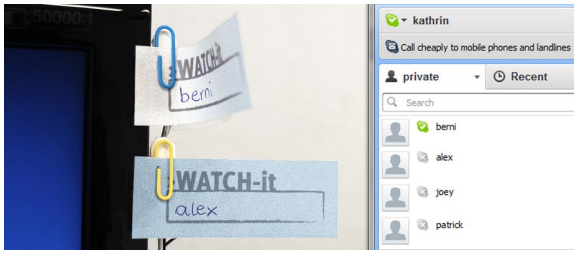


Fig. 8 Watch-it

これらふたつのアプリケーションはデスクトップ PC で作業する人間をユーザとして想定している．Outlook や Skype，その他のアプリケーションに組み込まれている従来のアノテーション手法では，予定の到来やユーザの状態などをディスプレイの中の図像やポップアップウィンドウ，音の出力によるアノテーションなどがある．

これらに対し，デスクトップ PC の周りに Post-it®を日常的に貼り付けているユーザも多くいることに着目した．それらはフィジカルな To Do List であり，他者からの不在時の連絡を伝えるメモであり，リマインダという過去の自分から現在の自分へと送られたメッセージであった．

これを踏まえ，デスクトップ内のアプリケーションがもつ情報のリアルタイム性と，付箋紙が持つ情報の見読性，一覧性，可触性を統合する「動作を可制御な付箋紙」として実装を行った．また，その動作の設定は従来我々が紙に対して慣れ親しんだ行為である「書き込む」ことによって行われるため，特別な操作方法や技術を学ぶ必要なく使用することができる．

### 4.2 情報の検索性を生かしたアプリケーションへの応用

さらに付箋紙に物理的な検索機能を与えたアプリケーション「Find-it」も構成した．本や地図の所定の位置に付箋紙を貼り，メモを書き込み，クリップで留めておけば，必要なときにそれらのメモの内容を PC に打ち込み「検索」することで，そのクリップの位置を作動によるアノテーションで見つけやすくすることができる．

これは電子情報がもつ検索性を利用し，実世界に「タグ」として取り付けた付箋紙を，そこに書き込まれた情報を制御用 PC によって整理，検索可能な状態にしておき，いざ検索されたときには作動させることで検索結果として「提示」させるために，アノテーションとしての Move-it の作動機構を利用するものである．これにより実世界におけるタグ付け，情報検索，および検索結果の提示を行うことができる．

さらにこの検索性を応用すれば，バックグラウンドでは PC が回りながらも，実際にユーザに触れる部分は紙とペンだけというインタフェースを構築することも可能である．例としてアルバイト情報を誰でも掲示することができる掲示板としての応用を挙げる（図 9）.

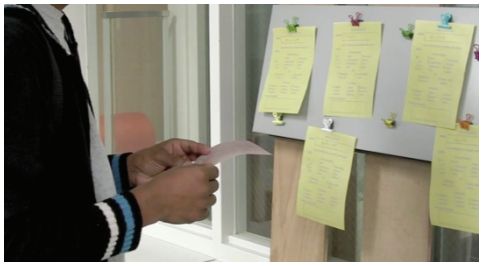

Fig. 9 Interactive Bulletin Board System

アルバイトを雇いたいユーザはまず，用意された専用の用紙に募集するアルバイトに求める技能や，職種，年齢，勤務可能時間帯や曜日についてチェックボックスにチェックを入れ，詳細について書き込み，その用紙を掲示板に貼り付け，クリップで留める．

一方でアルバイトを探しているユーザは自分の探している職種，自分の持っている資格や技能，勤務可能時間帯などについて別の専用用紙に印刷されたチェックボックスにチェックを入れる．するとこれらの入力に応じ，制御用 PC では現在掲示板に掲示されている情報の中から，そのユーザに適当なものを作動させて知らせることできる．ユーザは多く掲示されたアルバイト情報から自分に適したものをすばやく見つけることができるのである．またこのとき，作動周期によって，早く激しく動いているものほど適している度合が高いなどの調整も可能である．

これにより，ユーザどうしは紙に書き込むという行為にのみ触れながらも，コンピュータのもつ情報処理能力による恩恵を享受することができる．

## 5. 結論

本稿では付箋紙に動きの提示機能を与えるシステム Move-it について述べた．動きの提示には，紙に小さな作動素子を備えたクリップを配置することによって作動させる装置を構築し，提示される紙の動きが人間の視覚にとって動きとして検出可能である領域に達することを示した．

さらにこの装置に対し，動きを書き込むことで設定できるシステムを構築し，形状，物質としての紙の特性はそのままに，紙に能動的な機能としての作動する機構を付与した．

## 文　献

[1] 椎尾一郎，”RFID タグを利用したインタフェース (スマートタグ)”，情報処理, Vol. 45, No. 2, pp. 160–163, Feb 2004.
[2] 栗原一貴，五十嵐健夫，伊東乾，”編集と発表を電子ペンで統一的に行うプレゼンテーションツールとその教育現場への応用”，コンピュータソフトウェア, Vol. 23, No. 4, pp. 14–25, 2006.
[3] Suzanne P. Mckee, Ken Nakayama, “The detection of motion in the peripheral visual field”, Vision Research, Vol. 24, No. 1, pp. 25–32, 1984.
[4] 日本視覚学会，視覚情報処理ハンドブック: CD-ROM 付，朝倉書店, 2000.
[5] 福田忠彦，”運動知覚における中心視と周辺視の機能差”，テレビジョン学会誌, Vol. 33, No. 6, pp. 479–484, 1979.