

## ■8 群 (情報入出力・記憶装置と電源) - 1 編 (センシングとインタラクション)

---

# 1 章 入出力デバイス

### 【本章の構成】

本章では以下について解説する.

- 1-1 キーボード
- 1-2 ハプティックデバイス

## ■8 群-1 編-1 章

### 1-1 キーボード

(執筆著：山本隆一郎) [2017年10月 受領]

#### 1-1-1 キーボードの誕生

コンピュータの入力装置として現在まで普及しているキーボードであるが、その起源はタイプライタに由来する。キーボードが登場する以前の初期のコンピュータ入力装置は、コンピュータ装置を構成する基本アーキテクチャである2進数の入力を行うための単純な接点(スイッチ)や紙パンチカードであった。そういった単純な入力装置は、コンピュータプログラムがすべて2進数の羅列であるマシン語であれば、適した手法であるが、コンピュータプログラムが単純な2進数の羅列であるマシン語から進化して、英文字を当てはめたニーモニックを持つアセンブラや、更により人間に理解しやすい英単語や文法の模倣を基礎とした FORTRAN や COBOL のような高級言語にシフトしてくると、英文のテキストを直接的に入力できる手段は必須となる。そのときに、既に英文書の入力装置として既に世の中に普及していたタイプライタの英文キーボードがコンピュータの入力装置として応用され主役となるのも歴史的にみれば必然であった。

#### 1-1-2 QWERTY キーボードの普及

上述の通り、タイプライタを期限を持つキーボードであるが、そのキーレイアウトとして現在まで踏襲されている QWERTY 配列は、タイプライタの時代から継続しているレイアウトである。QWERTY とは、キーボードの英文字キーを一番左上から右に順に Q, W, E, R, T, Y と並ぶことからそう呼ばれているが、なぜこの配列になったかは、起源ははっきりとせず諸説ある。単純に考えると、アルファベットの順に A, B, C, D, E, F と並んでいる方が整然とする気もし、事実そういった ABC 配列キーボードも存在したが、QWERTY のように普及することはなかった。

QWERTY 配列の由来として有力の説の一つは、当時のタイプライタはメカニカルな構造のため故障も多く、英単語を入力する際に連続的に早く入力できないように、英単語の並びとしてはあまりない QWERTY 配列として距離を離して、一定の速度で入力できるように QWERTY となったという説である。

QWERTY の由来には諸説あるが、いずれの理由にせよ、人はキーボードの入力をブラインドタッチで一度覚えてしまうと、それを変更することは容易ではない。そのため、現代では必ずしも QWERTY である必然性はないように思えるが、逆に言えば QWERTY を否定する特段の理由もなく、最も重要なことは一度覚えた人の経験を変更することは容易でないことから、QWERTY は現在まで連綿と受け継がれている。これは、キーボードという入力手法が、より先進的なジェスチャや音声入力といったインタフェースにとって代わられて廃れるときまで、継続するものと考えられる。

#### 1-1-3 その他のレイアウトのキーボード

キーボードのレイアウトとして主流の QWERTY であるが、現在まで他の方式が存在しな

ったわけではない。特に日本人にとっては、英文タイプを起源とした QWERTY にこだわる必要性はなく、人間工学的に考察されたキーボードが複数提案されている。その一部の例として、親指シフトや、M 式キーボード、TRON 式キーボードなどがある。これらキーボードは、両手を置いた際の両腕からの自然な位置や指運びの運動を考慮した設計で考案されている。しかしながら、上述の QWERTY で述べた経験値の連続という呪縛を脱するほどの便利さや必然性は実感できなかつたようで、設計思想や構造の美しさには誰しも納得しながらも、それらキーボードが大衆に普及することはなかつた。キーボードがかさ張ることも嫌厭された原因と考えられる。よって、並列に並んだキーを持つ QWERTY キーボードは、人体に対する構造や運動工学的には多少不自然でも、依然として主役の位置を占める。

#### 1-1-4 キーボードの構造

キーボードの構造は、当初はタイプライタと同様にメカニカルなものであった。ただし、タイプライタとは異なり、キーの入力は接点となり、コンピュータへ伝達される。このようなメカニカルなキーボードは打鍵のカチカチという音や感触の快適さもあり、現在でも高級なキーボードでは採用されている。メカニカルキーボードのキーの反発を発生される構造も、単純なスプリングからパンタグラフ式までいくつかの方式が存在する。しかし、メカニカル方式のキーボードは製造コストがかかることから、現代で普及しているキーボードの大半はメンブレンやラバードームという、よりシンプルな構成で製造されている。

メンブレンは3層のフィルムを重ねてキーと接点と構成する手法で、キーの打鍵感にはふにゃふにゃとして、メカニカルのカチツという感触よりも劣るが、構造がシンプルで安価に製造できることから、キーボードの多くのシェアを占める。同様にキートップをラバードームという趣旨の突起で構成するラバードーム型や、静電容量を用いたキーボードなど、製造コストを下げて故障率を低下させた構成は主流となっている。

また、キーボードの弱点として、どうしても指で入力できる自然な大きさと、最低でもアルファベットの 26 文字 +  $\alpha$  の制御キーを搭載させる必要があり、携帯時の大きさは課題となっていた。それら課題を解決するために、バタフライキーボードや、折り畳みキーボード、ロール形式のキーボードなど一風変わった形式のキーボードも考案されている。これらキーボードは PC 向けとしては当初はあまり普及しなかつたが、小型のノート PC や携帯電話、スマートフォン向けとしては需要があり、一定の販売シェアを保っている。

ほかに、近未来的にレーザー投影をした映像に対して指を動かし、それを赤外線や画像処理で捉えることでキー入力とする仮想キーボードなども考案されている。

#### 1-1-5 キーボードの多言語入力

キーボードの入力は英語圏であれば QWERTY のみで問題ないが、日本語をはじめとした非英語圏では各国で工夫がされている。日本語では、ローマ字が存在することから、QWERTY を英文字をそのまま使った「ローマ字入力」と、他に英文キーにひらがなをアルファベットと一緒に刻印して、その刻印のままに入力する「ひらがな入力」の2種類に大別される。

PC の普及当初は、キーの刻印のままに分かりやすい「ひらがな入力」を多用する初心者が多かつたようであるが、PC が普及してブラインドタッチができる人間が増えた現在、QWERTY の指運びで高速に入力できる「ローマ字入力」が主流となっている。ただし、これも一時的で

ある可能性がある。

若年層では、スマートフォンやタブレットの普及で PC 離れやキーボードに触れることのない層が出現しており、彼らは QWERTY のブラインドタッチを身に付ける機会も動機もないことから、キーボード入力を見た目の刻印通りに理解しやすい「ひらがな入力」の方を選択する。

また、タブレットではキー配列は自由に変更できることから、五十音順に並んだ「ひらがな入力」を備えるソフトウェアキーボードがあり、一般的にはそちらの方式で入力が行われるケースが多い。

### 1-1-6 スマートフォンとタブレットのキーボード

スマートフォンやタブレットなどのモバイル機器では外付けキーボードとしては、上述の折り畳み式キーボードが Bluetooth などの無線接続で利用できる。また、スマートフォンやタブレットはタッチパネルを搭載しており、標準的にタッチパネル上のソフトウェアキーボードで入力を行う。

ソフトウェアキーボードはソフトウェアならではの特色として、自由にレイアウトを変えられることから、上述のように QWERTY レイアウトや五十音順の「ひらがな入力」までユーザの好みに合わせて自由に入力方式を選べる。

また、スマートフォンは一般的にサイズが小さく、キーを同時に並べて表示できるスペースが狭いことから、携帯電話で普及したテンキー配列や、フリック入力など独自進化をした入力方式が用いられている。フリック入力を用いると、十分な訓練を行えば、ハードウェアの QWERTY キーボードのように高速に入力ができる。また、ソフトウェアのもう一つの特色として、予測変換も活用できる。

以上のように、タイプライタから始まったキーボードは、時代ごとのデバイスに合わせて進化している。

## ■8 群-1 編-1 章

### 1-2 ハプティックデバイス

(執筆者：石橋 豊，黄 平国) [2017 年 10 月 受領]

#### 1-2-1 まえがき

近年、ハプティックス（触力覚）に関する研究が盛んに行われている<sup>1),2)</sup>。ハプティックスを扱うことにより、遠隔の物体や仮想物体からの反力によって物体の形状、柔らかさ、重さなどを感じることができるため、あたかも自分がその物体に触っているような感覚を得ることが可能である。従来の視覚・聴覚など他の感覚と一緒にハプティックスを用いることにより、臨場感の高い通信を実現できるため、遠隔医療、遠隔教育、ネットワーク型ゲームなど様々な分野での応用が期待されている<sup>3)</sup>。現在、ハプティックスに関する情報を入出力する、多様なハプティックデバイスが市販されており<sup>4)~6)</sup>、新しいデバイスの研究開発も多く展開されている<sup>7),8)</sup>。

以下では、まず、ハプティックスの定義と背景について紹介する。次に、ハプティックデバイスの分類について説明し、ハプティックデバイスの特徴について説明する。その後、ハプティックスの応用について紹介する。

#### 1-2-2 ハプティックス

ハプティックという言葉はもともとギリシャ語の“Haptesthai”であり、接触感覚という意味である。20 世紀の初め頃に、心理学の研究領域に導入され、人間が実際の物体に触っていることを指す。1980 年代後半には、ヒューマン-コンピュータ間の触感に関するすべての面を含むように定義された<sup>9),10)</sup>。最近では、人間の触覚と力のフィードバックを研究するための生体力学、心理学、工学及びコンピュータ科学の広い分野で、この言葉が用いられている。

#### 1-2-3 ハプティックデバイスの分類

これまでに多くのハプティックデバイスが開発されている。これらのデバイスは、自由度 (DoF : Degree of Freedom) によって、1 自由度のデバイス、2 自由度のデバイス、3 自由度以上のデバイスに大きく分類することができる<sup>1)</sup>。

1 自由度のデバイスは、1 つの軸（直線）上で正負方向に動かすことが可能であり、この直線の正負方向の反力しか提示できない。2 自由度のデバイスは、平面上での移動と反力提示が可能であるが、3 次元空間の移動やその反力提示ができない。3 自由度以上の装置は、3 次元空間での移動と反力を提示することができる。また、自由度が多くなると、一般的にデバイスの構造も複雑になり、より複雑な作業もでき、触感がより自然に近く提示することも可能である。しかし、ハプティックスに関する情報量も多くなり、これらの処理には端末の CPU に大きな負荷がかかる。

市販されている 1 自由度のハプティックデバイスは多くないが、平面上での作業しかできない 2 自由度のハプティックマウスから立体空間での作業が可能である 3 自由度以上の装置が多い。これらのデバイスでは、接触点（デバイスの空間での位置を表し、この点を介して利用者は物体などを触ることができる。本節ではカーソル<sup>3)</sup>と呼ぶ）を通して作業を行う。図 2・1 には市販されているハプティックデバイスの例を示している。これらのデバイスは自由度が 3 以

上であり、立体空間の上下左右前後 ( $x, y, z$  軸) などの作業が可能である。このほかに、自由度が更に多いデバイス、例えば、グローブ型のデバイス<sup>11)</sup>も市販されており、これらのデバイスはカーソルが複数あり、利用者の触れる点も複数存在する。また、市販されているデバイス以外に、研究開発されている腕に装着して振動と動きを提示するデバイス<sup>7)</sup>や全身に触力覚センサを付けて触力覚刺激を与えるデバイス<sup>8)</sup>などが挙げられる。



(a) Geomagic Touch



(b) Geomagic Touch X



(c) SPIDAR-G AHS



(d) Falcon



(e) Phantom Premium 1.5

図 2・1 ハプティックデバイスの例

ハプティックデバイスの今後の更なる発展について、センサと触力感覚の再現技術の発展に伴い、よりリアルな触力感を生み出すことが期待できる。また、指や皮膚だけに触力覚刺激を与えるのではなく、体全体にハプティクスデバイスによって触力覚刺激を自然に提示できるようにすることも必要となる。更に、近年、スマートフォンや携帯型端末の発展に伴い、デバイスの小型化、携帯しやすいデバイスを考慮することも重要である。更に、現在のハプティックデバイスの価格は依然として高く、一般の人へ普及するために、ハプティックデバイスの低価格化も重要である。

#### 1-2-4 ハプティックデバイスの特徴

ハプティックデバイスの入出力は、視覚・聴覚デバイスの入出力が異なるデバイスによって行われるのに対して、一つのデバイスを通して行われる。また、利用者により自然な反力を提示するために、ハプティックデバイスの入出力の更新は 1 kHz 以上が必要となっている<sup>1)</sup>。

ハプティックデバイスを介して利用者へ提示する反力の計算方法について、Spring-Damper モデル<sup>12)</sup>や God-Object 法<sup>13)</sup>などが挙げられる。以下では、Spring-Damper モデルのみについて説明する。このモデルでは、反力は弾性による力(例えば、バネを押すときに感じる力であり、押し込まれている深さに比例する力が返される)と粘性による力(例えば、水の中で移動するときに感じる力であり、移動する速度に比例する力が返される)から成る。具体的には、

カーソルの表示位置から実際のカーソルの物体へのめり込み位置までのベクトルに弾性係数をかけ、カーソルの物体に対する相対速度に粘性係数をかけたものを加えて反力が計算される。

また、一つのハプティックデバイスによって遠隔の別のハプティックデバイスを制御するシステム<sup>14)</sup>においては、例えば、ローカルデバイスのカーソルと遠隔デバイスのカーソル間の位置ベクトルの差及び速度の差にそれぞれ弾性係数と粘性係数をかけて加えることによって反力が計算される。

### 1-2-5 ハプティックスの応用

ハプティックスを用いた様々な応用が開発されている<sup>3)</sup>。利用する作業空間から仮想空間の作業と実空間の作業に分けられ、作業内容と応用分野から、教育、医療、展示、ゲームなどに分けられる。

ハプティックスに関する研究では、ハプティックスの特長を活かしやすい物体を移動する作業<sup>3)</sup>がよく使われている。物体を移動する作業では、利用者がハプティックデバイスを用いて、一人または複数の利用者が協力しながら、仮想空間または実空間内の物体を移動する。遠隔教育としては、例えば、文字の書き方を教える遠隔習字<sup>15)</sup>、遠隔生け花<sup>16)</sup>などが挙げられる。更に、手術トレーニングなどの遠隔医療への応用もある<sup>17)</sup>。ハプティックスを用いたネットワーク型ゲームとしては、例えば、果物狩り競争ゲーム<sup>18)</sup>、PK合戦<sup>19)</sup>などが挙げられる。

最近では、ハプティックデバイスを用いて、力覚センサが付与された遠隔のロボットを制御するシステムに関する研究<sup>20)</sup>も活発化している。例えば、ハプティックデバイスを用いて、作業用ロボットを遠隔制御しながら、手術シミュレーションを行ったり<sup>21)</sup>、架線作業<sup>22)</sup>などを行ったりするシステムがある。

ハプティックスを用いた応用の今後については、嗅覚や味覚などのセンシング技術と再現技術の更なる発展とともに、五感を用いた臨場感の高い通信技術を実現することも期待できる。更に、各感覚のセンシング技術と再現技術の発展と、第5代移動通信の発展に伴い、便利で高臨場感の通信が一般の人へ普及することが期待できる。また、遠隔ロボットを制御するシステムの発展によって、人間が入りにくい場所(例えば、宇宙や深海など)での作業も可能であり、人間の作業負担の軽減も期待できる。

### 1-2-6 まとめ

本節では、ハプティックの概念とその背景について紹介し、ハプティックデバイスの分類方法及びそれぞれの特徴を説明した。また、ハプティックスの応用についても解説し、ハプティックスの今後の発展についても議論した。

#### ■参考文献

- 1) K. Salisbury, F. Conti, and F. Barbagli: "Haptic rendering: Introductory concepts," IEEE Computer Graphics Applications, vol.24, no.2, pp.24-32, Mar. 2004.
- 2) E. Steinbach, S. Hirche, M. Emst, F. Brandi, R. Chaudhari, J. Kammerl, and I. Vittorias: "Haptic communications," IEEE Journals & Magazines, vol.100, no.4, pp.937-945, Apr. 2012.
- 3) P. Huang and Y. Ishibashi: "QoS control and QoE assessment in multi-sensory communications with haptics," IEICE Trans. Commun., vol.E96-B, no.2, pp.392-403, Feb. 2013.
- 4) <http://www.geomagic.com/en/products/phantomomni/overview>.

- 5) Novint Technologies Inc. : “Haptic device abstraction layer programmer’s guide,” Version 1.1.9 Beta, Sep. 2007.
- 6) M. Sato : “Development of string-based force display: SPIDAR,” Proc. VSM, pp.1034-1039, Sep. 2002.
- 7) K. Bark, E. Hyman, F. Tan, E. Cha, S.A. Jax, L.J. Buxbaum, and K.J. Kuchenbecker : “Effects of vibrotactile feedback on human learning of arm motions,” IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, vol.23, no.1, pp.51-63, Jan. 2015.
- 8) 室山真徳, 巻幡光俊, 中野芳宏, 松崎 栄, 山田 整, 山口宇唯, 中山貴裕, 野々村裕, 藤吉基弘, 田中秀治, 江刺正喜 : “ロボット全身分布型触覚センサシステム用 LSI の開発,” 電気学会論文誌 E, vol.131, no.8, pp.302-309, Aug. 2011.
- 9) A. Marshall and Y. Wai : “Haptic virtual environment performance over IP networks: A case study,” Proc. IEEE International Symposium on Distributed Simulation and Real-Time Applications, pp.181-189, Oct. 2003.
- 10) A. El Saddik : “The potential of haptics technologies,” IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, vol.10, issue 1, pp.10-17, Feb. 2007.
- 11) <http://www.cyberlovesystems.com/cyberforce/>
- 12) 3D Systems : “OpenHaptics toolkit programmer’s guide,” version 3.2.
- 13) C.B. Zilles and J.K. Salisbury : “A constraint-based god-object method for haptic display,” Proc. IEEE/RSJ, vol.3, pp.146-151, Aug. 1995.
- 14) 渡邊達也, 石橋 豊, 福嶋慶繁, 菅原真司 : “遠隔制御システムにおける力覚伝達方法の動的切り替え制御と切り替え時間の自動選択,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.15, no.2, pp.251-262, Jun. 2010.
- 15) 渡邊達也, 石橋 豊, 福嶋慶繁, 菅原真司 : “遠隔制御システムにおける力覚伝達方法の動的切り替え制御と切り替え時間の自動選択,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.15, no.2, pp.251-262, Jun. 2010.
- 16) 黄 平国, 石橋 豊, 福嶋慶繁, 菅原真司 : “分散仮想環境における香りの動的出力タイミング制御のユーザ体感品質評価,” 映像情報メディア学会誌, vol.66, no.12, pp.1495-1499, Dec. 2012.
- 17) D. Wang, H. Tong, Y. Shi, and Y. Zhang : “Interactive haptic simulation of tooth extraction by a constraint-based haptic rendering approach,” Proc. IEEE ICRA, pp.278-284, May 2015.
- 18) Y. Ishibashi, S. Hoshino, Q. Zeng, N. Fukushima, and S. Sugawara : “QoE assessment of fairness in networked game with olfaction: Influence of time it takes for smell to reach player,” Springer MMSJ, vol.20, no.5, pp.621-631, May 2014.
- 19) T. Fujimoto, Y. Ishibashi, and S. Sugawara : “Networked penalty shootout with haptic media and video,” Proc. ACM SIGCHI ACE, pp.76-82, Dec. 2008.
- 20) 黄 平国, 三好孝典, 石橋 豊 : “遠隔ロボットシステムにおけるバイラテラル制御の安定化,” 信学技報, CQ2016-125, Mar. 2017.
- 21) A. Takhmar, I.G. Polushin, A. Talasaz, and R.V. Patel : “Cooperative teleoperation with projection-based force reflection for MIS,” IEEE Trans. on Control System Technology, vol.23, no.4, pp.1411-1426, Jul. 2015.
- 22) V. Banthia, Y. Maddahi, S. Balakrishnan, and I. Sepehri : “Haptic-enabled teleoperation of base-excited hydraulic manipulators applied to live-line maintenance,” Proc. IEEE/RSJ IROS, pp.1222-1229, Sep. 2014.