

# 論 文

## ポインティングデバイスのスイッチ代行機構への歯の接触音とハミングの応用

橋本 昌巳<sup>†</sup>      米澤 義道<sup>†</sup>      伊東 一典<sup>†</sup>

### Application of the Teeth Chattering Sound and Humming to the Alternative Switch of a Pointing Device

Masami HASHIMOTO<sup>†</sup>, Yoshimichi YONEZAWA<sup>†</sup>, and Kazunori ITOH<sup>†</sup>

あらまし これから高齢者や障害者と社会の間にコンピュータを通してのコミュニケーションが必要になると思われる。しかし、通常のコンピュータはそれらの人にとって必ずしも使いやすいものではない。例えば、GUI環境のポインティング操作では、カーソルを動かす作業とアイコン選択、範囲指定などのスイッチによるクリック、ドラッグの作業が必要であるが、運動機能が頭部に限られている障害者にはこの操作は大変である。この論文ではクリック、ドラッグ時のスイッチ機能を残された頭部内の機能を用いて実現することを目指し、歯の接触音とハミングを用いた代行手法について検討した。その結果、これらによりクリック、ドラッグの機能を基本的に代行できることが示された。

キーワード ポインティングデバイス、クリック、ダブルクリック、ドラッグ、代行機構

#### 1. ま え が き

近年の社会の情報化に伴って、高齢者、障害者の社会とのコミュニケーションの必要性は年々高まっており、その中で情報機器が介在するケースが増えている。しかしながら、特に障害者は運動機能が制限される場合もあり、コンピュータ入力に用いられている標準的な機器が適切でない場合も少なくない。その場合には、残存する運動機能を有効に利用し、かつ利用者ごとの状況に対応する必要がある。Windowsに代表されるGUI (Graphical User Interface) 環境において、手足に障害があり運動機能が頭部に限られている状況では、入力支援としてキーボードやポインティングデバイスの操作を補助または代行する機構が求められる。そのうち、画面上のポインティング操作の代行手法としては、視線 [1]、眼球移動 [2]、頭部移動 [3], [4] によるカーソル移動と、カーソルの一時的滞留 [3]、頭部動作 [4]、瞬き [5]、呼吸等によるスイッチ機能が提案され、一部実用化されている。これらのスイッチ機能に

着目すると、標準的なポインティングデバイスであるマウスのように短時間で制御できるスイッチとしては十分とはいえない。また、不随意に発生する可能性がある動作を利用している場合、随意的動作と不随意的動作を判別する工夫が必要となるが [5]、完全に判別することは困難である。

ポインティングデバイスの代行機構においては、カーソル移動とスイッチ機能を実現する手段は相互に干渉することがない要素が望ましい。そこで、筆者らは視線、眼球移動、頭部移動等のカーソル移動手段と組み合わせるためのスイッチ機能として、頭部内の機能で不随意に発生する可能性が少なく、かつ高速に行える歯の接触音とハミングを利用したスイッチ代行手法について検討した。ポインティングデバイスのスイッチの基本機能は、選択等を示すクリック、実行等を示すダブルクリック、範囲指定等に用いられるドラッグがあり、更に複数スイッチを有するデバイスの場合、スイッチの数に応じて機能を増やすことができる。クリック、ダブルクリックは短時間のパルス性信号を、ドラッグは継続的信号を必要とする。筆者らの提案は、パルス性信号として歯の接触音を、継続信号としてハミングを利用するものである。ドラッグはパルス性信

<sup>†</sup> 信州大学工学部, 長野市  
Faculty of Engineering, Shinshu University, 4-17-1  
Wakasato, Nagano-shi, 380-8553 Japan

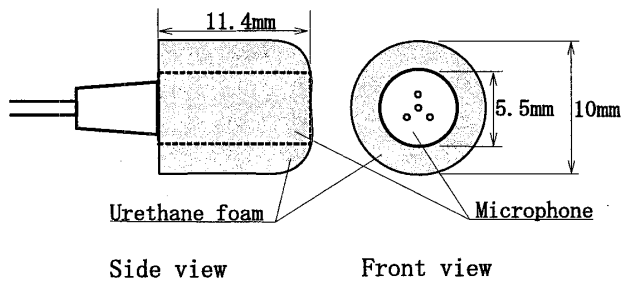


図1 小型マイクロホン  
Fig.1 Microphone for ear canal.

号を符号化して実現する手法，例えば，連続3回のパルス性信号をドラッグ開始とし，終了時点で再度発生する手法等が考えられるが，実際のドラッグ動作に近づけることを目的として，継続的信号であるハミング音を組み合わせる手法を提案する．歯の接触音，ハミング音ともに口を閉じた状態で発生可能で，周囲への音の放射は少なく聴覚的にも視覚的にも個人レベルのものでパーソナルな環境に適している．

本論文では，歯の接触音とハミング音の基礎特性を示し，両信号から代行スイッチ出力を得るための手法について述べている．

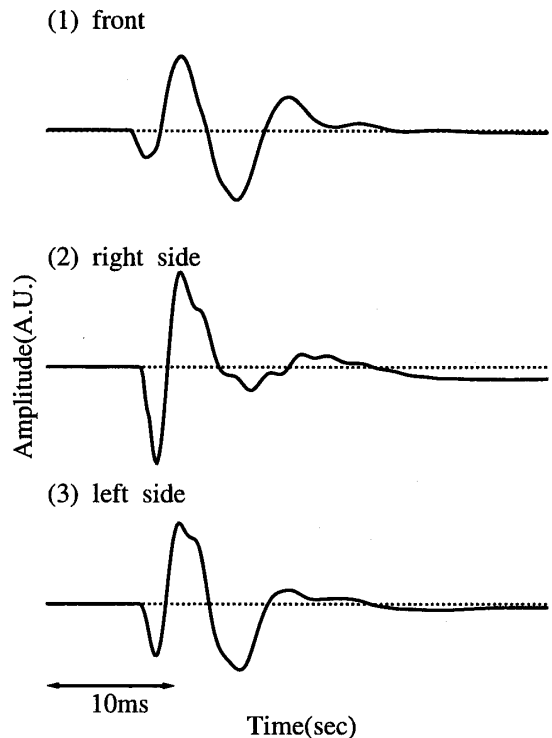
## 2. 信号音の採取方法

歯の接触音とハミング音の採取は，周囲の音の影響を受けず安定して抽出するために外耳道で採取することとした．具体的には，図1に示すように外形5.5mmの小型マイクロホン（ソニー製 ECM-155）の周囲にウレタンフォームを直径約10mmとなるように巻き，外耳道に挿入して行った．ウレタンフォームを巻き付けることで装着時の安定性を保つとともに，外部からの騒音の影響を低減している．

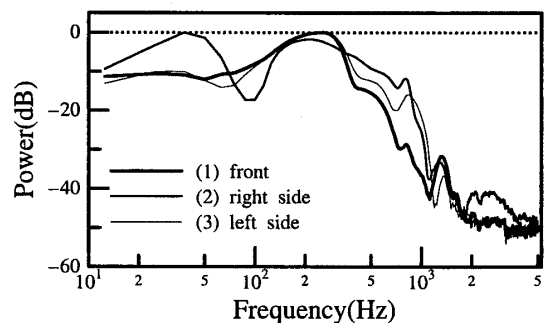
## 3. 歯の接触音の発生方法と基礎特性

### 3.1 接触音の発生方法

歯を噛み合わせたときに生ずる音は，歯科領域で咬合音として種々検討が加えられた経緯があり，その目的が咬合状態の診断にあったため通常の噛み合わせ位置において発生する音を採取している[6], [7]．本検討での歯の接触音の利用目的は利用者の意思表示であるため，利用者の負担が軽く安定して検出できることが望ましい．そのために，通常の噛み合わせ位置に限らず歯列上の任意の位置で歯を鳴らしたときの音を含めて検討した．すなわち，利用者は故意に噛み合わせをずら



(a) Waveforms of teeth chattering sounds.



(b) Power spectra of teeth chattering sounds.

図2 歯の接触音の信号波形とパワースペクトル例  
Fig.2 Waveforms and power spectra of the teeth chattering sounds.

して歯を鳴らすことができ，これは通常の噛み合せ位置で音が発生することよりも利用者の負担も少ないと考える．

### 3.2 接触音の基礎特性

マイクロホンで採取される歯の接触音の信号波形とパワースペクトルの例を図2に示す．これは，被験者（成人健常男性）がマイクロホンを右耳に装着し，歯列上の前部，右側，左側で歯を鳴らしたときの例である．実際に接触していた歯の位置はそれぞれ右上下第1切歯，右上下犬歯，左上下犬歯である．接触音の採取は，マイクロホンの出力を20dB増幅後，FFTア

ナライザ (小野測器製 CF-360Z) でサンプリング周波数 12.8kHz で行った。実験は静寂な室内で行い、被験者に対しては

- 安定して再現できる位置
- 歯が1点でのみ接触
- 無理なく何回も続けられる程度の強さ

の3条件を示して採取した。

いずれの信号も持続時間 [8] は 10 数 ms のパルス性信号であり、パワースペクトルも 2kHz 以下の成分を広く含んでいることが共通している。更に、同じ位置、同じ強度で行ったときの信号波形の再現性は良好で、10 回採取した信号波形間の相関係数を求めたところ、いずれも 0.98 以上であった。

また、周囲への音の放射を調べるために、口の前方 10cm の位置で同型マイクロホンにより採取した音は、外耳道で採取した音の約  $-43$  dB で歯の接触音は頭部外への音の放射はほとんどないことが示された。

### 3.3 接触音の伝搬経路に関する考察

外耳道で採取した音は、歯の衝突時の衝撃が骨伝導の振動としてマイクロホンに到達する経路と、衝突時に発生する音波が頭部内を伝搬して外耳道内の空気振動としてマイクロホンに到達する経路とで構成されると考えられる。そこで、マイクロホンの受音孔をビニールテープでふさいで空気振動による音を除去して骨伝導の振動成分のみを採取した。その信号波形を通常状態で採取した信号とともに図 3 に示す。両信号波形は左耳で参照信号を採取して振幅と時刻をそろえ、(2) の骨伝導の振動成分による信号波形のみ振幅を 25 倍して示した。採取音の 2 種類の経路について考察すると、骨伝導による信号は頭部内を伝搬して外耳道内

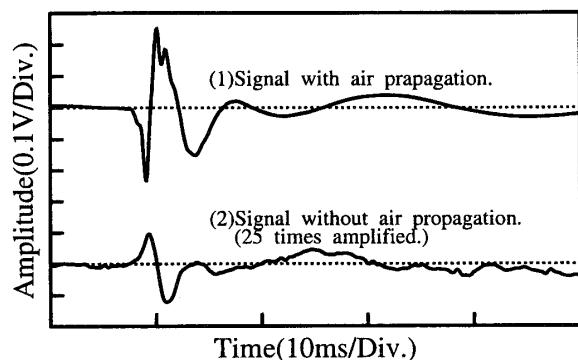


図 3 空気振動成分と骨伝導成分  
Fig.3 Waveforms of the teeth chattering sounds with/without air propagation.

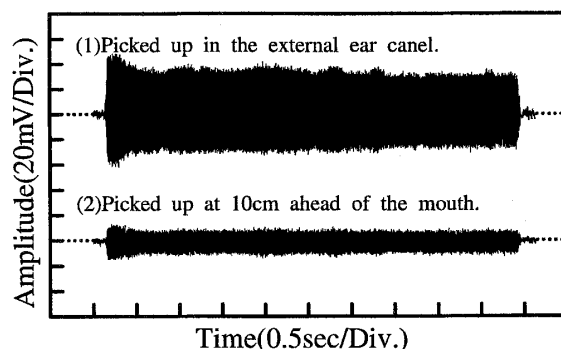
の空気振動として到達する成分の  $-34$  dB ほどで、極めてわずかであることが示された。

## 4. ハミング音の基礎特性

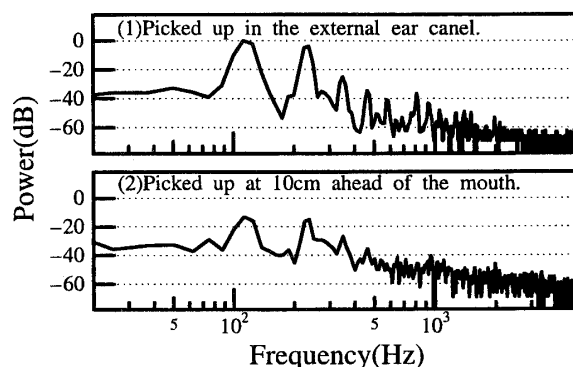
ハミングは連続した鼻音であり唇を閉じたまま発声できる。そのために周囲への音の放射は少なく、コンピュータ利用時のようにパーソナルな環境に適している。

### 4.1 基礎特性

成人男性被験者の 5 秒間のハミング音の例を図 4 に示す。被験者には自然な状態で無理なく発声するよう指示した。(a) は信号波形であり、(1) は外耳道で採取した信号で、マイクロホン出力を 20 dB 増幅器と遮断周波数 10 Hz の高域通過フィルタを通した後、デジタルレコーダ (ティアック製 DR-M3) にサンプリング周波数 10 kHz で記録した。(2) は口から 10cm の位置で同型マイクロホンにより採取した気導音である。ハミング音の振幅は立上り部を除くと安定しており、ドラッグ用の継続信号として適していることがわかる。



(a) Waveforms of humming sounds.



(b) Power spectra of humming sounds.

図 4 ハミングの信号波形とパワースペクトル  
Fig.4 Waveforms and power spectra of humming sounds.

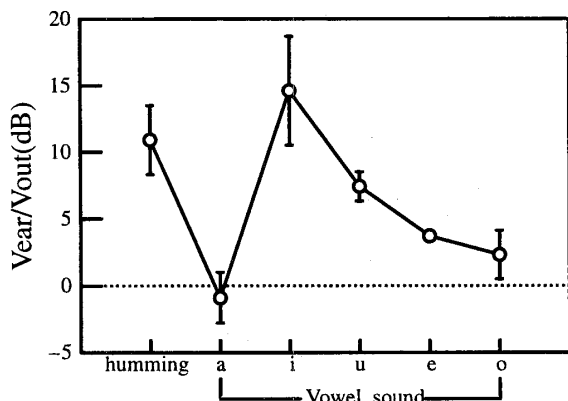


図5 外耳道採取音 ( $V_{ear}$ ) と外部採取音 ( $V_{out}$ ) の比  
Fig.5 The ratio of the amplitude of signal ( $V_{ear}$ ) picked up in the external ear canal to that ( $V_{out}$ ) picked up at 10 cm ahead of the mouth.

また、外耳道での採取は口前方より効率良く採取できる。(b)はそれぞれ採取音のパワースペクトルである。外耳道で採取したハミング音は、口前方で採取した気導音に比べ、基本周波数付近の低周波域が強調され、倍音も明確に観察されている。

次に、唇を閉じて発声するハミングと開口して発声する母音の周囲への音の放射を調べるために、外耳道で採取した信号と外部マイクロホンで採取した信号の振幅比を求めた。結果を図5に示す。ハミング音と各母音を5秒間発声し、記録した信号波形の立上り、立下り部各0.5秒を除いた信号の振幅の平均を求め、外耳道/外部をデシベルで示した。被験者は、成人健常男性で各発声5回の平均と標準偏差を示した。ハミングの外耳道採取音は外部採取音より約10dB大きく、/i/を除く他の母音についてはそのレベル差は小さい。/i/のレベル差が最も大きいが開口して発声するために、歯の接触動作との独立性が悪く、この理由からも口を閉じて行えるハミングは優れている。すなわち、ハミング音を外耳道で採取することは母音の発声と比べても、わずかなエネルギーによる発声でも大きな信号を得られることとなる。

## 5. スイッチ代行を目的とした両音の識別と歯の接触動作の高速性に関する検討

### 5.1 歯の接触音とハミング音の個人差

本手法で用いる歯の接触音とハミング音の振幅について個人差と同一被験者の強弱差を計測した。被験者は成人健常者男性3名(A, B, C)女性2名(D, E)であり、採取方法は3.2, 4.1と同様である。その結果

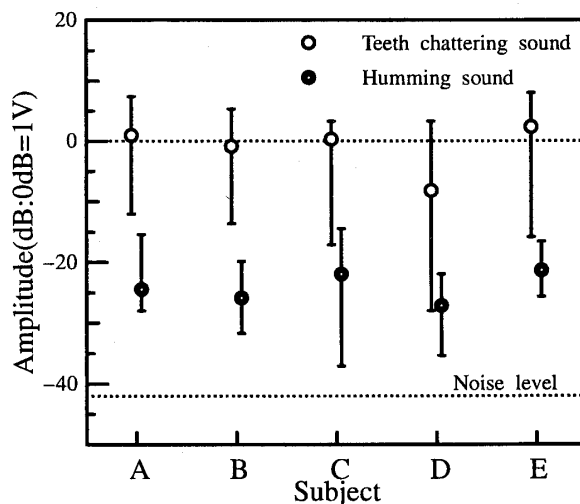


図6 歯の接触音とハミング音の強弱による振幅の変化  
Fig.6 The level of teeth chattering sounds and humming sounds.

を図6に示す。被験者には、歯の接触音においては行いやすい位置で、ハミングにおいては行いやすい高さで、それぞれ強く、普通、弱くの3種類の強度で行うように指示して各信号を採取した。ここで“普通”の強さの認識として、無理なく何度も繰り返し実行できる程度であると指示した。結果は、各採取音において歯の接触音では最大振幅を、ハミング音では約5秒の採取音の立上り、立下りのそれぞれ0.5秒を除いた信号の振幅の平均を計測して1回の値とし、各強度5回の平均を求めたもので、それぞれの“普通”の振幅と強弱時の範囲を示している。同時に、マイクロホンを装着した安静時の平均ノイズレベルを示した。歯の接触音はその強弱によりおおむね20dBの範囲の信号レベルが得られ、ハミングでは十数dBであった。“普通”の強さの接触音とハミング音の差はおおむね20dBであるが、一部の被験者で信号レベルの範囲が重なっている。しかし、この重なりは範囲の端に近く、意識的に強弱を調整することで十分に識別可能な各音を発生できる。更に、ノイズレベルは両音に比べ十分に低い。

### 5.2 歯の接触動作の高速性

ダブルクリックは、素早く2回スイッチをオンにする動作である。歯の接触動作の実行可能間隔を計測する目的で、ダブルクリックのイメージで発生した連続2回の接触音を採取してその時間間隔を計測した。時間間隔は、2波形の立上り部で最初のピーク値の10%の位置の時間間隔を計測した。被験者に対しては、再現性が保たれる歯列上の任意の位置、強度で、極力短い

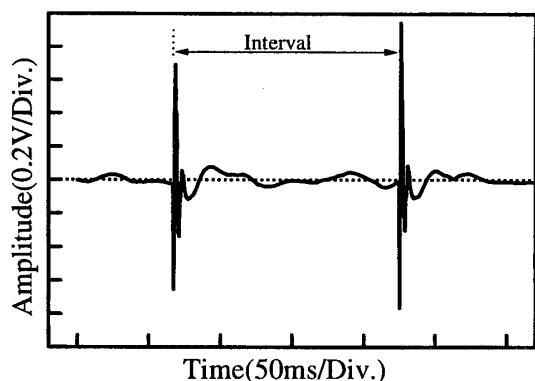


図7 ダブルクリックの信号波形  
Fig. 7 Example of double click signal.

表1 ダブルクリックの時間間隔

Table 1 Interval between double chattering sounds and double click by mouse.

Subject	teeth chattering sounds	mouse
A	160.0 ± 11.3	157.3 ± 8.0
B	226.5 ± 19.1	174.8 ± 8.9
C	284.3 ± 17.7	170.0 ± 8.4
D	295.3 ± 15.4	208.3 ± 20.0
E	278.7 ± 37.6	185.3 ± 10.5

(ms)

時間間隔で2回の接触音を発生するように指示した。比較として、マウスのスイッチを用いてダブルクリックを行った場合の時間間隔を計測した。被験者は成人健常者男性3名(A, B, C)女性2名(D, E)である。図7に採取音の一例を示し、表1に計測時間の結果を示す。歯の接触動作の時間間隔はマウスによるダブルクリックの1~1.7倍程度であり、本手法の高速性が示された。

## 6. スイッチ代行機構のシミュレーション

### 6.1 スイッチ代行機構のための信号生成手順

本検討で提案している手法で採取音からポインティングデバイスのスイッチ出力に相当する信号を生成する手順を図8に示す。

#### 6.1.1 クリック信号の生成

歯の接触音からクリック信号を生成するために、採取音中の不要な高周波成分を除去する遮断周波数1kHzの低域通過フィルタを通した信号を用い、実験的に得られたしきい値を上回る信号の場合に一定時間幅のパルスが発生することとした。パルス幅はダブルクリックの時間間隔と後述のドラッグ信号の生成を踏まえて100msとした。

#### 6.1.2 ドラッグ信号の生成

ハミング中信号は、採取音を成人男女の音声の基本

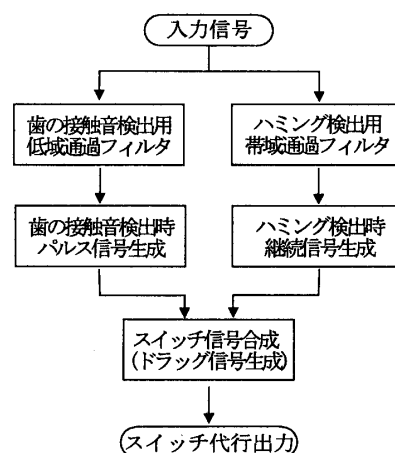


図8 代行出力生成手順  
Fig. 8 Alternative switch process.

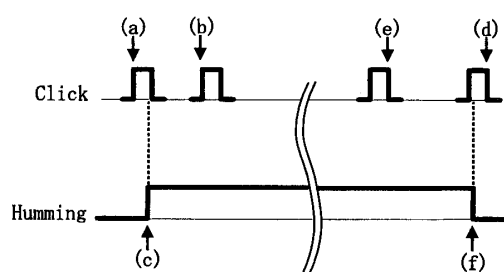


図9 ドラッグ信号定義モデル  
Fig. 9 Models of drag signals.

周波数(100~300Hz [9])の帯域通過フィルタを通し、実験的に得られたしきい値で動作するモノマルチバイブレータの出力パルスを基本周波数成分周期より長い15msとしておくことでハミング中継続した信号として得る。ドラッグの開始、終了にこのハミング中信号をそのまま用いることは、操作は簡単であるが、立上り、立下りに不安定さがあり、高速の操作が難しいことやクリックとの混同の危険性があるので、クリック信号との論理和を用いる方式も可能とした。

図9はハミング単独も含めて、クリックのタイミングの異なるドラッグの開始、終了の信号をモデル的に示したもので、矢印はそれぞれの開始、終了の時刻を示している。

(c)~(f)はハミング単独によるドラッグ期間指定、(a)~(d)はハミングの開始、終了と同時にクリックを行うドラッグ期間指定、(b)~(e)はハミング中のクリックによるドラッグ期間指定である。(c)、(f)以外は両信号の論理和を用いる方式である。ドラッグ期間の指定は、この中の方式を開始と終了で変えて組み合

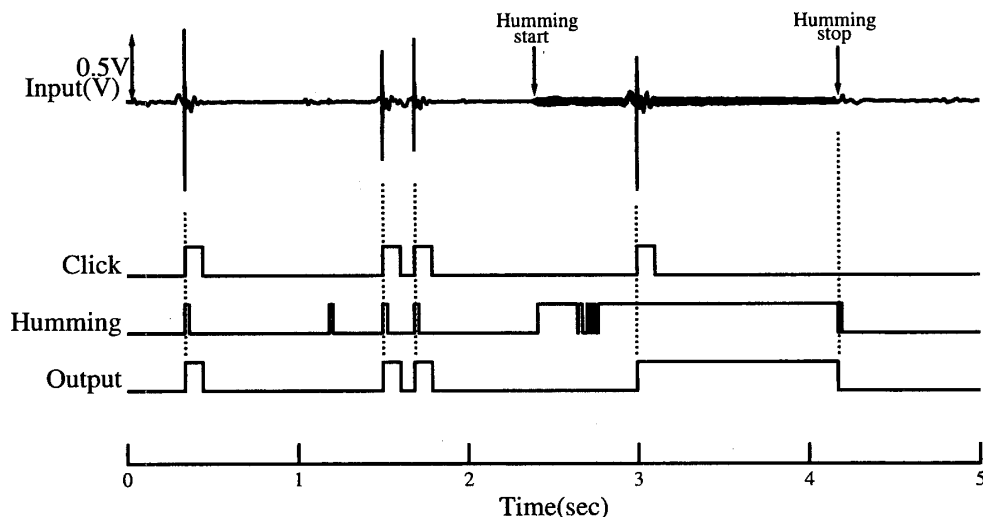


図 10 シミュレーション解析例  
Fig. 10 Simulation output.

わせてもよい。

これらの場合、前述のようにハミングのレスポンスの緩慢さから (c), (f) では応答が緩やかで、立上り、立下りが不明確になりやすい欠点はあるが、動作が単純で息つきによってドラッグを繰り返して望む位置まで移動することも可能である。また (a), (d) ではクリックとの同時性を得るために、クリックのパルス幅、ハミング検出のしきい値の設定に工夫が必要である。例えば、ハミングの立上りは約 50 ms であるので立上りと同時にクリックが発生するとその論理和をとるためには、ハミング検出のしきい値にもよるがクリック信号のパルス幅を 100 ms 程度にする必要がある。この方式を含めハミングとクリックの重複信号を用いる方式では、動作が複雑になるものの、長時間のドラッグにおいてはハミング中断の後、再び重複信号がくるまでをドラッグ期間とすることで安定性に優れたドラッグ操作の構成が可能である。

## 6.2 代行出力生成実験

ここで提案する方式を確認するために、クリック、ダブルクリック、ドラッグをそれぞれ 1 回ずつ含む採取音を入力として、スイッチ代行出力を生成するシミュレーションをパーソナルコンピュータ上で行った。その例を図 10 に示す。この例ではクリック、ダブルクリックに続いてハミングを開始してその途中で歯の接触動作を行いドラッグ開始とし、ハミングの終了をドラッグの終了としている。図中の Click は歯の接触音を検出して生成されるパルス性信号を、Humming はハミングの検出による継続信号を示している。ここで、

ドラッグの開始はハミング中に歯の接触音を発生する方式、終了はハミングの終了という定義を用いて解析した。Humming には歯の接触動作時等にも信号が見られるが、最終的な出力である Output には影響しておらず、スイッチ代行出力としてそれぞれの動作に応じた出力が得られていることがわかる。

## 7. む す び

本論文では、ポインティングデバイスのクリック、ドラッグを実行するためのスイッチの代行機能を頭部中の機能で実現することを目的として、歯の接触音とハミング音を検出してスイッチ代行出力とする手法について検討した。クリック、ダブルクリックについては歯の接触音を検出してパルス性信号を出力し、ドラッグにおいてはスイッチのオン状態を持続するためにハミングを用いて継続信号を出力して、マウス等のドラッグ動作のイメージに近づいたものとした。その手法について実験的に定めたしきい値を用いてシミュレーションを行ったところ実現可能なことを確認した。

しかしながら、ドラッグはアイコンの移動、範囲指定等正確性が求められる動作で相当の時間が必要となる場合も考えられる。本検討のハミングでは、数秒から 10 秒ほどならば安定して持続可能であることから、マウス程度のカーソル移動速度及び精度が得られるカーソル移動方式との組合せであれば、おおむね実用できる。しかし、カーソル移動に時間を要する場合には、ドラッグ動作が更に長時間となることが考えられ、その場合には継続信号として用いたハミングの休止も

許容できることが必要となる。例えば、前節で述べたように歯の接触音とハミングの組合せをドラッグの開始、終了とし、中間の移動中はハミングを不要とする、あるいは、ハミングのみを用いる方式で終了の判定に息つきが許容できる程度の冗長性をもたせる等、利用者や利用環境に配慮することが必要であろう。

また、代表的なポインティングデバイスであるマウスの場合には、複数スイッチをもつものもある。筆者らは歯の接触音を通常の噛み合せ位置での発生のみでなく、歯列上の任意の位置での発生を含めて検討しており、採取音の特徴をもとに発生位置を識別して複数スイッチに対応させる可能性も考えられる。

### 文 献

- [1] 伊藤和幸, 数藤康雄, “視線による文字入力時における文字間隔拡大の効果について,” 信学技報, HCS2000-12, June 2000.
- [2] J. Gips, P. DiMattia, F.X. Curran, and P. Olivieri, “Using eagleeyes — An electrodes based device for controlling the computer with your eyes — to help people with special needs,” Proc. 5th International Conference on Computers Helping People with Special Needs, pp.77-83, Linz, Austria, July 1996.
- [3] 久保宏一郎, 藤野雄一, 八木秀俊, 大塚作一, “首振り動作による障害者用文字入力システムへの応用,” 信学技報, HCS99-4, April 1999.
- [4] 古瀬則夫, 渡辺高志, 二見亮弘, 星宮 望, 半田康延, “運動機能麻痺者のための残存運動機能を用いた制御命令入力システム,” ME 誌, vol.37, no.2, pp.152-160, June 1999.
- [5] 加納尚之, 井上倫夫, 小林康浩, 井上 晋, 井上公明, “コミュニケーションエイドのための「まばたき」の検出,” 信学技報, HC94-43, Sept. 1994.
- [6] 永木修二, 野村修一, 風間栄輔, 石岡 靖, “顎・口腔における音響・振動に関する研究第 1 報咬合音について,” 日本補綴歯学会, vol.19, pp.43-58, 1975.
- [7] 高宮紳一郎, “咬合音の骨伝導に関する研究,” 歯科学報, vol.79, no.7, pp.1317-1359, 1979.
- [8] 子安 勝, 騒音振動 (上), コロナ社, p.31, 1978.
- [9] 三輪穰二, パソコン音声処理, 昭晃堂, p.80, 1991.

(平成 12 年 8 月 21 日受付, 12 月 25 日再受付)



橋本 昌巳 (正員)

昭 60 信州大・工・情報卒。同年長野県情報技術試験場勤務, 平 4 信州大学工学部情報工学科助手。生体情報の計測, 処理の研究に従事。日本 ME 学会, 情報処理学会等各会員。



米澤 義道 (正員)

昭 38 東北大・工・電子卒。昭 43 同大学院博士課程了。同年信州大学工学部講師, 昭 44 同助教授, 昭 56 同情報工学科教授。工博。生体や工業製品などの 3 次元的形状計測の研究, 感覚機能の代行的サポートシステムの研究, 生体情報計測の研究, 空中音源とその応用システムの開発研究に従事。計測自動制御学会, 人間工学会, 電子写真学会, 日本音響学会, 日本 ME 学会等各会員。



伊東 一典 (正員)

昭 46 信州大・工・通信卒。同年長野高専電気工助手, 昭 55 信州大学工学部情報工学科助手, 昭 63 同助教授。音響情報及び生体情報の計測, 処理, 特に音による視覚障害者支援の研究に従事。工博。日本 ME 学会, バイオメカニズム学会, IEEE 等各会員。