

基礎論文

力覚提示を利用した実時間実環境作業支援システムの提案

野嶋琢也*¹ 関口大陸*² 稲見昌彦*³ 舘暲*³A Proposal for a Real-time Task Supporting System in the
Real Environment through Force FeedbackTakuya NOJIMA,*¹ Dairoku SEKIGUCHI,*² Masahiko INAMI*³ and Susumu TACHI*³

Abstract - The previous researches on augmented reality have been mainly focused on augmentation of visual or acoustic information. However, the human could get information not only through vision and acoustics, but also through haptics. The haptic sensation is very intuitive hence some researchers are focus on using haptic sensation in an augmented reality system. In these researches, the haptic sensation is generated based on static data such as generated from CAD, CT, etc. However, these systems are hard to respond to changing real environment in a real time. In this paper, we propose a new concept for the augmented reality of haptics, the SmartTool. The SmartTool could respond to the real environment by using real time sensors and a haptic display. The sensors on the SmartTool measure the real environment then send us that information through our haptic sensation. Furthermore, we will describe about the prototype system we have developed.

Keywords : Augmented Reality, Haptic Display, Real Time Sensor

1. はじめに

従来の複合現実感に関する技術では、視覚情報の増強に関する研究が主として行われてきた [1]。特に実世界における作業を支援する目的の場合、実世界の映像に様々な視覚情報を融合して人に対して提示することが行われている [2]。

視覚を通じて様々な情報を融合提示することで

- 注視点と作業点の一致
- 直感的な情報提示

が可能であることから、実世界における人間の作業を支援する上で有効であると考えられる。しかし通常、人は得られた情報を解釈し、判断しなければその情報を作業に反映させることができない。つまり人に対して情報が入力されてから、人がその情報を現在行っている作業に反映させるという出力までの間には、必ず人間の情報処理による遅延が存在する。提示される情報の変化が比較的緩やかで、それに合わせてゆっくり作業することが可能であれば、この遅延はほとんど問題にならず、提示される情報の変化に作業を追従させることは可能である。しかし提示される情報の変

化が早い場合、あるいは逆に素早く作業することが要求される場合には、この遅延により提示される情報に実時間で追従することが難しくなる。そこでここでは、視覚と同様非常に直感的な感覚である触覚を通じて情報提示することを考える。人間が作業を行う際、視覚からの情報だけではなく、例えば保持している道具から得られる手応えといった触覚情報も利用しており、実際に作業をする際には触覚情報は視覚情報と並んで重要な情報源であると考えられる。そこで作業に必要な情報を可触化し、特に力覚を通じて作業者に提示することを考える。その場合作業に利用している道具を通じて力覚を作業者に提示することとなるため情報が提示される場所は作業用の道具となり、情報が提示される場所と作業点を一致させることが可能となる。

また、例えば手術等において手術器具が体内の重要な器官を傷つけようとした時に、警告音や警告灯を通じて作業者に対して手術者に対して情報の提示を行うことは可能であるが、警告音や警告灯それ自体は作業に対して直接的な寄与はしないため、突発的な事故により重要器官を傷つけてしまうといった事象に対処することは難しい。それに対して手術道具が常に特定の器官との位置関係という情報を可触化し、人に対して提示する場合を考える。そのような器官に手術用道具が接近した場合に警告として反力を発生させたり、あるいはそれとは逆に手術すべき領域から引力を発生さ

*1: 東京大学大学院 工学系研究科

*2: 科学技術振興事業団

*3: 東京大学大学院 情報理工学系研究科

*1: School of Engineering, The University of Tokyo

*2: Japan Science and Technology Corporation

*3: Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

せることで、直感的に理解可能な形で情報の提示を行い、さらに力覚以外の他の感覚を通じて情報提示をした場合と比較して、力を使っていると言う点でより直接的に人間の作業を支援していると言える。

このように情報を可触化して人に対して提示するシステムとしては、橋本らの手術支援システム [3] や、山田らの実時間視力覚フィードバックシステム [4] などがある。橋本らのシステムでは予め CT で撮影した患者の体内情報を元に人体内部に危険領域を設定し、手術道具がその危険領域に近づくと侵入しないように反力を生成して危険領域の情報を作業者に提示すると同時に、実効として実際に道具が危険領域に侵入して人体を傷つけることを防いでいる。しかし一般に作業対象は作業とともに状態が変化するため、CT 等のように予め取得された静的なデータを利用した場合、作業中の作業対象の変化に実時間で対応することは難しい。

また、山田らのシステム [4] では触覚提示装置に搭載されたペンと作業対象である板との距離情報を可触化し、接触の際に生じる衝撃を緩和している。その際、接触対象の位置と形状は高速な視覚センサを利用して計測し、ペン先の位置姿勢の計測は触覚提示装置自体計測装置を利用している。対象の情報を高速な視覚センサを用いて実時間で計測しているため、環境の変化に実時間で対応することは可能であるが、利用している視覚センサの座標系と触覚提示系の座標系との間のレジストレーション作業は不可欠となっている。

本論文では、実世界における作業支援を目的として、実時間で作業対象を計測し、実時間でその情報を作業者に対して触覚、特に力覚を通じて提示することで作業支援を行うことを目的としたシステム、SmartTool を提案する [7]。SmartTool を利用することで、変化する作業対象に対する実時間での対応を可能にし、さらに作業に応じて適切なセンサを選択することで計測系と提示系との間の座標のレジストレーションの問題を回避する事が可能になることを示す。まず第 2 章で SmartTool の基本構成について述べ、第 3 章で今回試作したシステムについて記述する。そして第 4 章では力覚を通じた情報提示の評価実験について述べ、第 5 章では SmartTool の応用例の一つである危険領域回避について行った実験について記述する。そして第 6 章でまとめと今後の課題について述べる。

2. SmartTool の基本構成

SmartTool とは実作業に用いる作業用の道具に、作業に応じたセンサを搭載し、搭載されたセンサより得られた作業対象に関する情報を積極的に可触化して作業者に提示することを目的とした、知能化された道具の総称であり、実環境計測の為のセンサ、実際に実世

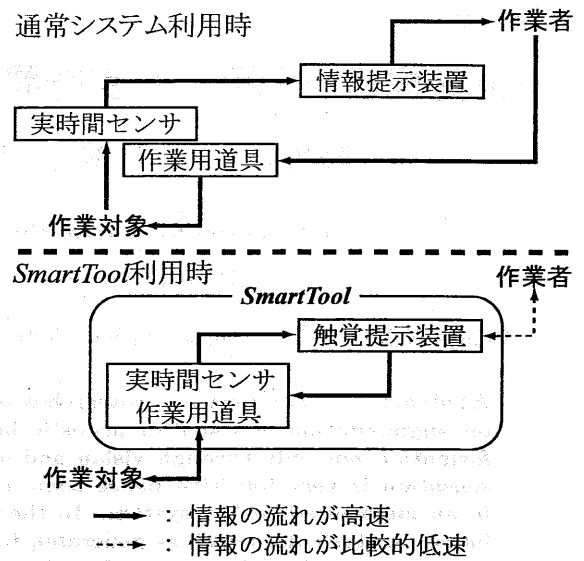


図 1 情報の流れの概念図
Fig. 1 A Concept of the Information Flow

界で作業をするための作業用道具、そして情報提示手段である力覚提示装置の 3 つの部分から構成されている。

一般の触覚以外の感覚を利用した情報提示の場合、作業遂行時の情報の流れは図 1 上の様になると考えられる。図 1 上は通常の視覚や聴覚といった感覚を通じて情報を提示する場合の、環境、作業者、道具間の情報の流れの概念を示し、図 1 下は SmartTool を利用して力覚を通じて情報を提示する場合の情報の流れの概念を示す。この図において太線矢印は情報が比較的高速で流れるか、あるいは高速に流れることを期待されているルートで、点線矢印は比較的低速で流れてもよい部分を示している。図 1 上にあるように通常の情報提示手段を利用した場合、作業者が全体の作業ループの内部に存在するため、全体のパフォーマンスを上げるには、人間の情報処理速度、反応速度がボトルネックとなる。

それに対して SmartTool を利用した場合、基本的には SmartTool それ自体がセンサからの情報を監視しているため、人間は全体の作業ループの外側に存在し、ボトルネックとなることを回避している。

以下では SmartTool の個々の要素について述べる。

2.1 センサ

第 1 章で述べたように、実環境の変化に対応するために必要なセンサをシステムに搭載する必要があるが、一般には作業目的を設定することで、その作業に適した道具と、その作業用道具を利用して作業を遂行する上で必要となる情報がある程度決定することができる。人に対する情報の入力、そして入力された情報の作業への反映という出力において、既存のシステムでは入

力される情報に関して時間的および空間的な問題から、必要な情報を計測するためのセンサを SmartTool に搭載する場合、

- 実時間性
- 搭載場所
- 大きさ

といった点について考慮する必要がある。

変化する作業対象に実時間で対応するため、また力覚提示装置の制御に利用するセンサであることから、実時間で動作するものである必要がある。例えば山田らのシステム [4] では、接触対象の状態を計測するためのセンサは作業用の道具には搭載せず、離れたところから高速な視覚センサを利用して計測している。そのため、実時間で対象の環境の変化に対応することが可能となっているが、特に空間的な値を得るためのセンサの場合、センサの持つ座標系と提示系の持つ座標系とを正確にレジストレーションする必要がある。

しかし基本的には、必要となる情報は実際に作業している領域のごく近傍の情報、作業用道具と作業対象が接触しているごく狭い領域の情報が得られれば十分であることが多い。そしてそのような作業領域近傍の状態を計測するのであれば、できるだけ作業用道具が実際に作業を行う領域にセンサが搭載できることが望ましい。また、作業領域の近傍の状態を計測するためのセンサを作業用道具に直接搭載した場合の計測可能領域は作業用道具の可動範囲とほぼ一致し、その空間座標は提示系と完全に同一なものとなる。これにより、一般に複合現実感における大きな問題である環境計測のためのセンサの座標系と感覚提示系の座標系との間のレジストレーションを回避することが可能になる。

しかし作業用道具の作業点近傍に作業対象の実環境の状態を計測するためのセンサを配置した場合、センサ自体が作業を阻害する要因になりうるため、作業を妨げないように小型・軽量のものを用意する必要がある。

2.2 作業道具及び力覚提示装置

力覚を通じた作業支援を考える場合、まず問題となるのが人間が既に習得しているスキルとの関係である。そこで作業者の既存のスキルを生かすための方策として、まず、現在通常の作業に用いられているものと同じ道具をシステムに搭載するものとする。さらにこの既存の作業用道具を高いバックドライバビリティを持つ力覚提示装置に搭載することにより、既存の作業を行うのと同様感覚で作業用道具を扱うことが可能になると考えられる。また、可能であるならばある程度汎用性を考慮して、触覚提示装置には作業に応じて様々な道具に交換可能な物であることが望ましい。

通常、作業用道具の先端部分周辺で実際に作業が行

われると考えられることから、理想的には作業用道具の先端部の作業点と力覚提示システムの制御点と一致することが望ましい。例えば PHANToM [5] を使用する場合、スタイラスを保持してその先端でバーチャルな物体に対する接触動作を行う。スタイラスの先端はシステムの制御点となっているが、同時にシステムのリンク機構の関節部分ともなっているため、実環境における作業に利用することは難しい。よって SmartTool の力覚提示装置には、制御点と作業点とが一致し、かつ作業点周辺で作業対象と干渉しないような空間が確保されているものを利用する必要がある。

次章ではこの考えに基づいて今回試作したシステムについて述べる。

3. 力覚提示部構成

ここでは SmartTool の力覚提示部として新たに制作したデバイスについて述べる。SmartTool の力覚提示部に対して必要とされる条件は、

- 様々な道具が搭載可能であること
- 道具やそれを持つ手と提示部が干渉を起こさないこと

などが挙げられる。この条件に基づいて今回試作したデバイスの写真を図 2 に示す。

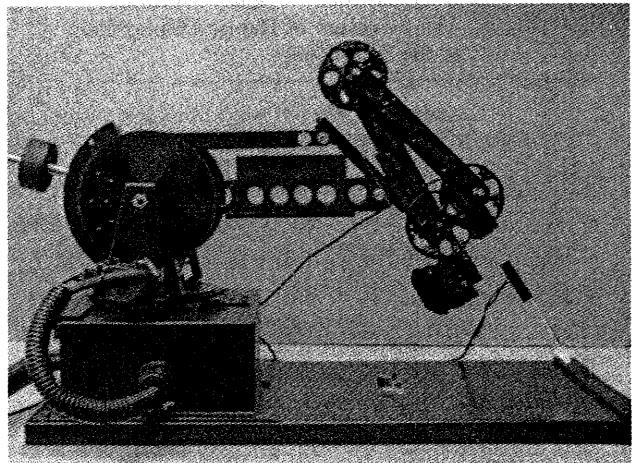


図 2 SmartTool の力覚提示部全体像
Fig. 2 A Picture of Haptic Display Part of the SmartTool

本デバイスは並進 3 自由度、姿勢 3 自由度の計 6 自由度を有する機構となっており、並進の各軸にアクチュエータが搭載されている。アクチュエータには 10[w] の DC モータ (Maxon 社 RE25, 118746) を採用し、減速比は 1/20 となっている。これらのアクチュエータは PC(OS:MS-DOS Ver.6.2) とモータドライバ (岡崎産業, PC-0121-2) を通じて、電流制御が行われている。PC からモータドライバへの指令は DA ボード (Interface 社 PCI-3523A) を介して電圧により行われてい

る。各軸のアクチュエータにはエンコーダ (Maxon 社 HDES-5540 110511,500[ppc]) を搭載し、エンコーダからの情報はカウンタボード (Interface 社 PCI-6201) を通じて PC へと送られ、4 通倍して利用している。全体の制御ループは 1[kHz] を達成している。このデバイスの構造図およびデバイスに設定した座標系を図 3 に示し、図中の各リンクのリンク長を表 1 に示す。また、図中の L_t は力覚提示部に搭載された道具を示しているが、これは L_t 軸の根本の回転中心から搭載された道具の先端までを意味している。

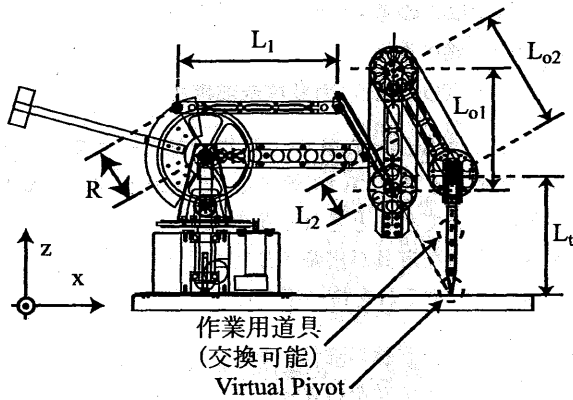


図 3 SmartTool の力覚提示部構造図
Fig. 3 The Structure of Haptic Display Part of the SmartTool

このデバイスの特徴としては、プーリーとワイヤを利用した平行リンク機構により、 $L_t//L_{o1}$, $L_{o2}//L_2$ が常に実現されている。そのため、 L_t の長さを正確に L_{o1} とあわせることで作業用道具の先端が常に L_2 の延長線と一致し、 L_t の先端をバーチャルピボットとすることが可能となっている。また、この平行リンク機構を利用することによって、人間が実際に持って利用する道具 L_t の周囲に大きな作業スペースを確保することが可能となっている。また、リンクの最終段がソケット状の構造になっており、作業に応じて必要な作業用道具をこのソケットに装着することで様々な作業に対応することも可能になっている。

表 1 リンク長
Table 1 The link length of each link

リンク	長さ [mm]	リンク	長さ [mm]
L_1	200	L_{o1}	150
L_2	50	L_{o2}	150
R	70	L_t	150

次に実際に作業を行う部分である、 L_t の先端の各軸方向の可動範囲を表 2 に示す。

表 2 可動範囲
Table 2 The range of motion

方向	可動範囲 [mm]
X 軸	280
Y 軸	400
Z 軸	400

4. 力覚を通じた情報提示の評価

以下では力覚を通じた情報提示についての評価実験を行った。まず水と油の入った水槽を用意し、被験者には水槽の中で 2 層に分かれた水と油の境界面にペン先をあわせるというタスクを実行してもらった。この時 SmartTool に搭載する作業用道具としてはアクリル製のスタイラス (図 4 左) を用い [6]、水層と油層の識別には電気伝導度センサを用いた。ここでは実際に評価実験を行う前に、実験で利用する電気伝導度センサについて考察を加える

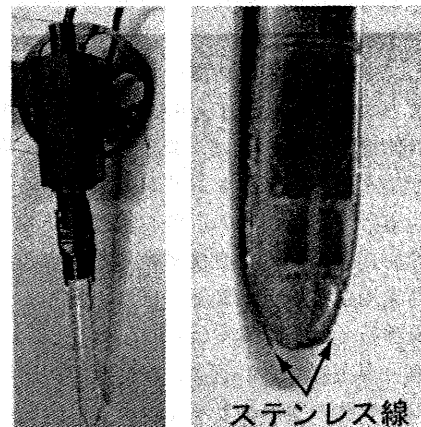


図 4 左: スタイラスを SmartTool に搭載した状態
右: センサ部拡大
Fig. 4 Left: A Stylus on the SmartTool
Right: The Stylus with Sensor

4.1 電気伝導度センサ

ここで利用する電気伝導度センサは、水と油の電気伝導度の違いを計測することで両者の識別を行っている。アクリル製スタイラスの両脇に $\phi 0.5\text{mm}$ のステンレス線を沿わせ、先端までのばすことで電極とした (図 4 右)。そして先端の電極間の電圧を計測することで、水と油の電気伝導度の違いを計測した。この時のスタイラスの先端位置と電極間の電圧値との関係を図 5 に示す。図 5 は実際にスタイラスを空中から油層、そして水層へと降ろしていき、その後上昇させて水槽より引き抜いたときの様子を表している。図の横軸は基準面からのスタイラス先端の高さを表し、縦軸はその時のスタイラス先端の電極間の電圧値を示している。また、図中矢印はその際の動きの方向を示して

いる。まずスタイラスが空中にある場合には電極間が絶縁状態のため通電せず、センサの電圧値は0[V]を示している。そこから徐々に下に下げていくと、先端が47[mm]付近に達したときに電極間電圧が上昇し、その後水層へ降ろした量に応じて電圧が上昇している。その後引き上げ動作に移るが、その時電圧値の減少量は降ろした時と比較して緩やかで、先端が60[mm]付近に達するまで電極間で通電している。

今回使用した水槽は内側底面が基準面から8[mm]程度の高さのところにあり、基準面よりおよそ47[mm]の高さまでが水層となっており、そして油層は水槽の上、基準面よりおよそ55[mm]の高さまでとなっている。このことから、空中から油層、そして水層へと侵入していく場合、水層と油層の境界面の位置と、スタイラス先端の電極間の電圧が立ち上がる位置がほぼ一致していることが分かる。しかしスタイラスを水層から引き上げる際、スタイラス及び電極の表面に水分が多少残るため、侵入時と比較して電圧の減少が緩やかになるものと考えられる。電極周辺に残る水分のために油層より引き上げた後でも電極間で通電しているものと考えられる。このことは、このセンサがセンサ周辺の情報を実時間で計測していることを示している。

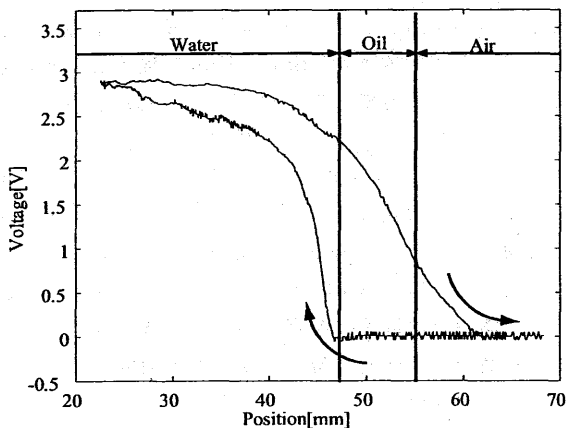


図5 電極間電圧とスタイラス先端位置
Fig. 5 The relationship between Voltage of electrode and the position of the tooltip

4.2 評価実験

本実験では電気伝導度センサを利用して水槽中の水層と油層を識別し、さらにこのセンサより得られる情報を被験者に対して視覚、聴覚、そして触覚を通じて提示し、その場合の反応時間を計測した。触覚を通じた提示はさらに振動覚を通じて提示する場合と力覚を通じて提示する場合について評価を行った。また、全ての試行において SmartTool の力覚提示部をそのままスタイラスの先端位置計測装置として利用した。そ

の際、情報提示位置と作業点をなるべく一致させるため、各試行について以下のような方法を用いた

- 視覚を通じた提示：LED をスタイラス先端付近に装着
- 聴覚を通じた提示：水槽のそばにスピーカを設置
- 振動覚を通じた提示：ボイスコイルをスタイラスを保持する手の人差し指爪上に装着
- 力覚を通じた提示：スタイラスを保持することで、スタイラスを通じて提示される

また被験者にはスタイラスが垂直になるように保持してもらい、各試行を通じてできるだけ早く、かつなるべく一定の速度でスタイラスを動かしてもらうように指示した。また、水槽からスタイラスを出した後は必ずスタイラスを拭いて、スタイラス表面から油分や水分を除去した。各々の提示手段について5回ずつ計測し、その結果の平均を図6に示す。この時、スタイラスの先端の位置情報を元に、先端が水層と油層の境界面に達した瞬間を時刻0としている。

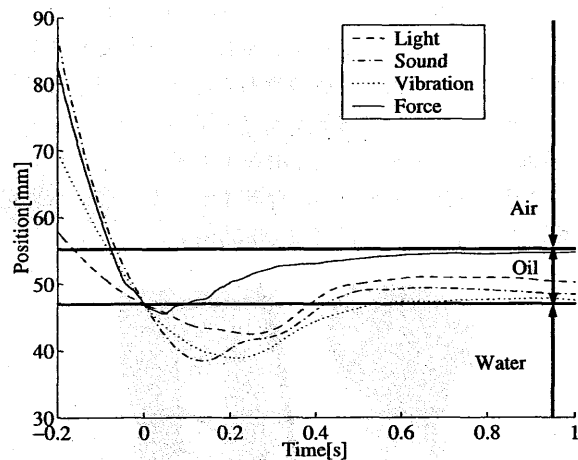


図6 境界面到達実験
Fig. 6 The experimental result of reaching task

センサは水層に到達してから反応するため、スタイラスは必ず水層にある程度侵入し、その後センサ情報に基づいたフィードバックにより、スタイラス先端位置が上昇するという軌跡を描く。そこで、スタイラス先端が最も深く水層に侵入した時刻、つまり図6上で各試行において Position の値が最小値を取る瞬間をその提示手段における反応時間とし、表3に示す。

表3 反応時間

提示手段	時間 [s]
光	0.252
音	0.139
振動	0.211
力	0.045

この結果より、他の提示手段の場合はほぼ人間の反応時間 (およそ 0.1-0.2[s]) と等しくなっているが、力を通じて提示した場合は格段に早くなっていることが分かる。これは力を通じた提示の時に人間の反応時間が短くなっているわけではなく、人間が反応するよりも先にシステムが反応しているため、結果的に短い反応時間を実現していると考えられる。

5. 危険領域回避実験

ある特定の領域を危険領域領域として設定し、SmartTool を利用することでその領域に作業用の道具が侵入しないようにフィードバックをかける実験を行った。その際、対象としては入手の容易さからゆで卵を用い、黄身を危険領域として黄身の部分を傷つせずに白身の部分のみを切断するという実験を行った。この時、SmartTool の力覚提示部に搭載する道具としては外科手術に用いるメス (図 7 左) を利用し、センサには光ファイバを用いた色識別センサを搭載した (図 7 右)。本実験では白色と黄色を識別できれば白身と黄身の識別が可能であるため、青色 LED からの光を光ファイバにより対象に照射し、その反射量を計測することで白色と黄色の識別を行った。図 7 に示される黒いチューブの内部を光ファイバが通り、メスの先端部分に、光源用、受光用各 1 本ずつを組にしてメスの刃の左右に 1 組ずつ、合計 4 本の光ファイバを配置した。光ファイバ直径は $\phi 0.5[\text{mm}]$ となっている。

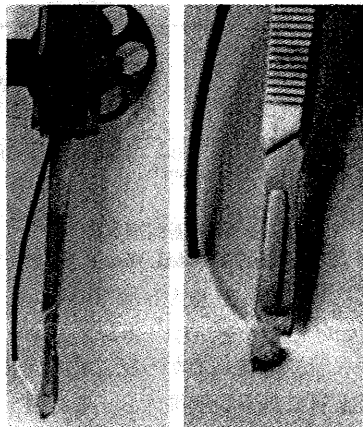


図 7 左: メスを SmartTool に搭載した状態
右: センサ部拡大

Fig.7 Left: A scalpel on the SmartTool
Right: The Scalpel with sensor

このセンサ及び作業用道具を用いて実際に切断実験を行った結果を図 8 に示す。図 8 では SmartTool を用いて卵を切断した後、墨汁を用いてメスの通過した領域を黒く着色した様子を示している。白太線で囲まれている領域は黒く染まっていることから、メスにより切断された領域を示し、黒太線で囲まれた領域は黄

身の領域を示している。メスにより切断された領域と黄身の領域との間は着色されていないことから切断されていない部分を示している。よって、危険領域として設定された黄身の領域を傷つけることなく白身のみ切断することに成功した。さらに、切断実験後黄身のみを取り出して肉眼で直接観察した結果、表面にメスによる傷が存在しないことも確認した。



図 8 危険領域回避実験

Fig.8 Avoidance of Dangerous Area

6. まとめ

本論文では、力感覚を通じて作業員に対してセンサ情報を提示することで、実時間で作業支援を行うことを目的としたシステム、SmartTool を提案し、その必要条件について考察を加えた。また、実験を通じて力感覚を通じた情報提示の有効性を確認した。

また SmartTool を利用した実作業例として、実世界に侵入不可領域を設定し、特定の領域を保護する作業実験を行い、その有効性を確認した。

今後このシステムを応用して、例えば手術などにおいて人体内部の特定の器官、あるいは腫瘍等をセンサにより識別し、特定の器官を侵入不可領域として設定することで保護する、あるいは腫瘍に向けて吸引力を設定することで作業員に対して支援を行うことなどが考えられる。実際、光線力学的療法 (Photodynamic Therapy) や光線力学診断 (Photodynamic Diagnosis) に利用される 5-アミノレブリン酸 (ALA) という薬剤は人体の腫瘍部分に選択的に集まり、さらに蛍光を発することが知られている [8]。そこで例えばこのような薬剤を利用することで人体の腫瘍部分のみを選択的に識別することは技術的には可能であると考えられる。

7. 謝辞

本システムを構築するにあたり、構想段階で様々なご助言をいただいた満洲邦彦教授に感謝するとともに、実際に設計、製作する段階において多大な援助をしてくださりました川淵一郎博士に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] Ronald T. Azuma: "A Survey of Augmented Reality", Presence, Vol.6, No.4, pp.355-385, 1997.
- [2] Steven Feiner, Blair Macintyre, Doree Seligmann: "Knowledge-based augmented reality", Communications of the ACM, Vol. 36, No. 7, pp53-62, 1993.
- [3] 橋本涉, 岩田洋夫: "危険領域の力覚表現による手術支援環境", 日本バーチャルリアリティ学会第2回大会論文集, pp. 39-42, 1997.
- [4] 山田泉, 並木明夫, 石井抱, 石川正俊: "実時間視力覚フィードバックを用いた実環境作業支援システム", 第17回日本ロボット学会学術講演会, pp.959-960, 2000.
- [5] Thomas H. Massie, J. K. Salisbury: "The PHAN-ToM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects", Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting, Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, Chicago, IL, Nov. 1994.
- [6] Takuya Nojima, Masahiko Inami, Ichiro Kawabuchi, Taro Maeda, Kunihiko Mabuchi, Susumu Tachi: "An interface for touching the interface", Conference Abstracts and Applications of SIGGRAPH 2001, p.125, 2001.
- [7] 野嶋琢也, 関口大陸, 稲見昌彦, 館障: "触覚におけるオーグメンテッドリアリティの研究(第1報) ~ SmartToolによる実作業支援 ~", 日本バーチャルリアリティ学会第6回大会論文集, pp.485-486, 2001.
- [8] Peng Q, Warloe T, Moan J, Godal A, Apricena F, Giercksky KE, Nesland JM: "Antitumor effect of 5-aminolevulinic acid-mediated photodynamic therapy can be enhanced by the use of a low dose of photofrin in human tumor xenografts", Cancer Res. 2001 Aug 1, 61(15), pp.5824-5832, 2001.

(2002年1月31日受付)

[著者紹介]

野嶋 琢也 (学生会員)



2000年東京大学大学院工学系研究科修士課程修了, 同年同大学院博士課程進学, 現在在籍中. 力覚フィードバックおよびオーグメンテッドリアリティに関する研究に従事.

関口 大陸 (正会員)



2001年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了, 博士(工学). 同年科学技術振興事業団研究員, 現在に至る. 力覚フィードバックおよびオーグメンテッドリアリティに関する研究に従事.

稲見 昌彦 (正会員)



1999年東京大学工学系研究科博士課程修了. 博士(工学). 同年より東京大学国際・産学共同研究センターリサーチ・アソシエイト. 2001年東京大学大学院情報理工学系研究科 助手となり現在に至る. オーグメンテッドリアリティ及びテレレジスタンスの研究に従事.

館 障 (正会員)



1973年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了工学博士. 同年東京大学工学部助手, 機械技術研究所等を経て, 1989年東京大学先端科学技術研究センター助教, 1992年同教授, 1994年東京大学工学部教授, 2001年同大学院情報理工学系研究科システム情報学専攻教授. 現在に至る. 信号処理, 盲導犬ロボット, テレレジスタンス等に関する研究に従事.