

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：2008～2009  
 課題番号：20710130  
 研究課題名(和文) 強化現実(AR)を用いた作業マニュアルの実用化に向けたヒューマンファクター的研究  
 研究課題名(英文) Human factor research for application of digital manuals with augmented reality technology  
 研究代表者  
 中西 美和 (NAKANISHI MIWA)  
 千葉大学・大学院工学研究科・講師  
 研究者番号：70408722

研究成果の概要(和文)：本研究では、透過型のヘッドマウントディスプレイ(HMD)を利用した強化現実(AR)の技術を、作業マニュアルに応用することを目指し、そのためのヒューマンファクターガイドラインを示した。特に本研究では、作業マニュアルによって与えられるインストラクションの内容、及びそれが用いられる際の作業状況を考慮し、各ケースにおける応用可能性を、ヒューマンファクター実験による評価に基づいて明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This study is aimed at clarifying the cases in which it is effective to apply visual instruction with head mounted displays for augmented reality technology, and providing a guideline that suggests the applicability of such visual instruction, considering different situations. This guideline will be a useful reference for workers in safety-critical fields and will help them make better decisions about whether, when, and where the new method of instruction should be introduced. It will also address some of the unsolved problems in the field, such as errors, low efficiency, and discomfort in communication.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：ヒューマンファクターズ/人間工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学/社会システム工学・安全システム

キーワード：強化現実(AR)/ヒューマンファクター/HMD/作業マニュアル/視覚情報

## 1. 研究開始当初の背景

組織で働く作業員にとって、作業に関わる指示は、正確かつ効率よく作業を遂行する上で非常に重要な情報である。特に、プラント、航空機、医療など、安全が重視される業種に

おいては、指示の受け逃しや取り違え、失念などが、重大な事故に繋がることもあるため、より適切な伝達方法が探索されている。

従来、作業員間の指示伝達は、口頭、すなわち聴覚情報を媒体として行われることが

主であり、発信者と受信者が対面しない環境においては、無線電話等がそのインタフェースとして用いられてきた。一方、近年では、ウェアラブルなディスプレイの開発により、視覚情報を媒体とした指示伝達の可能性も高まっている。例えば、プラントにおけるトラブル対応やメンテナンスに関する指示伝達、遠隔手術時の指示伝達、航空機において地上クルーからパイロットへの指示伝達など、様々な応用可能性が示唆されている。筆者らも、航空機製造における主翼運搬時の作業員間の同期合わせを模擬した実験を行い、従来のトランシーバを用いた方法に比べて、シースルー型ヘッドマウントディスプレイ（HMD）を用いた方法の方が、作業効率が向上し、正確さも改善されることを示した（M. Nakanishi et al. 2008）。

このように個別のシチュエーションに対して、新しいインタフェースを用いた視覚情報による指示伝達が提案される一方、どのようなシチュエーションにおいて、視覚情報による指示伝達が効果的であるか（またはそうでないか）の体系的な指針は示されていない。言い換えれば、様々なシチュエーションでの指示伝達を有する現場サイドにとって、新たな指示伝達方法を導入するに十分なデータが与えられていない。このことは、様々なタイプのHMDの開発が進む一方で、それらが必ずしもスムーズにかつ効果的に現場に活用されない一因といえる。

そこで、本研究では、指示が行われる作業状況、及び指示形態を考慮して、シースルー型HMDを用いた視覚情報による指示伝達の基本的な応用可能性を明らかにし、実現場への導入に関する大略的な指針を示すことを目標とする。

まず、本研究では、指示が行われる作業状況を、SRKモデル（J. Rasmussen, 1983）に基づいて3種類に大別した。すなわち、十分に慣れた作業において指示が与えられる場合、定められた手順に従いながら行う作業において指示が与えられる場合、予測や判断を伴う不慣れた作業において指示が与えられる場合を検討対象とした。また、指示形態を、同期性に着眼して、作業前に行われる指示と作業中に行われる指示とに分類した。実場面に照らし合わせれば、作業前のミーティング等で行われる、当該作業の進め方や留意点に関する指示が前者に当たり、作業の進行状況に応じて与えられるリアルタイムの指示や別の作業の割り込みに伴った指示が後者に当たる。

上述の整理に基づく各場合に対して、従来の聴覚情報による指示伝達方法、シースルー型のHMDを用いた視覚情報による指示伝達方法、さらに両者の併用による指示伝達方法を適用する場合の作業パフォーマンスを実

験的に調べ、各指示伝達方法のメリット・デメリットを検討する。

## 2. 研究の目的

本研究では、指示が行われる作業状況、及び指示形態を考慮して、シースルー型HMDを用いた作業マニュアルの基本的な応用可能性を明らかにし、実現場への導入に関する大略的な指針を示す。

## 3. 研究の方法

本研究のねらいは、視覚情報による指示伝達の応用に関して、業種や職種に関係なく、あらゆる作業場面に読み替え可能な基本的指針を示すことである。そこで、被験者に与える実験タスク、及び指示は、特定の作業場面を模擬したものではない、極めて抽象的なものとした。

### (1) 実験タスク

実験タスクとして、スキルベースのタスク、ルールベースのタスク、ナレッジベースのタスクの3種類を用意した。いずれのタスクも、被験者がPC上で行えるものとした。実験環境を図1に示す。

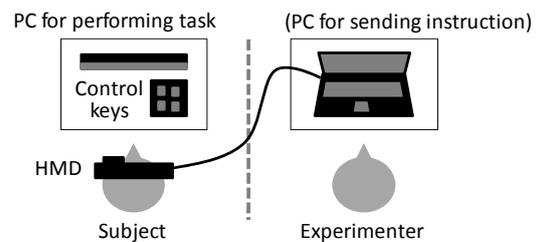


図1 実験環境

PCの画面上に表示されるタスク域は、正方形のXY座標平面領域（ $x=0\sim 10, y=0\sim 10$ ）とし、これは3種類のタスクに共通のものとした（図2）。タスク開始と同時に、タスク域上にスタート点とゴール点を示された。また、この時点で、制御対象物はスタート点上に置かれた。被験者は、この制御対象物を、手の十字キーを用いて、x軸方向、またはy軸方向のいずれかに1単位ずつ移動させることができた。なお、対象物に対する制御は、対象物が格子上で制止する場合のみ有効とし、

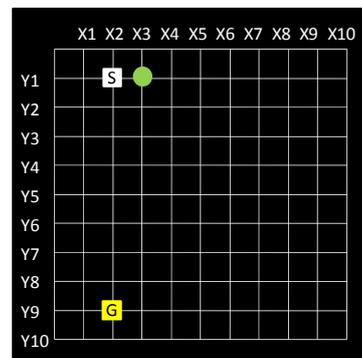


図2 タスク域

一度のキー押によって対象物は格子から格子を0.8秒間で移動した。  
各タスクの詳細を以下に示す。

① スキルベースのタスク

複雑な思考や判断、記憶の参照を要さず、慣れきった状態で行えるタスクとして、スキルベースのタスクは、次のように設定された。タスク開始と同時に、スタート点とゴール点の間に正解経路が示される(図3)。被験者は、対象物をこの経路に沿って動かし、ゴールまで到達させることが求められた。

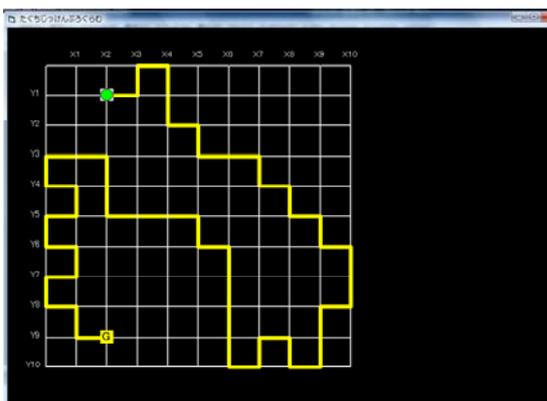


図3 スキルベースタスク時の実験画面

② ルールベースのタスク

あらかじめ定められたルールに従って進めるタスクとして、ルールベースのタスクは次のように設定された。タスク開始時、タスク域には、スタート点とゴール点、及び対象物が示され、さらにタスク域の右側に対象物が置かれた格子の拡大図が示される(図4)。拡大図には、対象物を移動させることが可能な上下左右の4つのパスのそれぞれに2桁の整数(10~99)が付される。被験者には、実験を始める前に、初めの10単位の移動はp1の倍数が付されたパスを、次の10単位の移動はp2の倍数が付されたパスを、さらに次の10単位の移動はp3の倍数が付されたパスを選択するよう教示した。ただし、p1、p2、p3は異なる1桁の整数とした。被験者は、この教示を十分に確認した状態で、実験に臨んだ。対象物がある格子から次の格子へと移動すると、拡大図に示される整数は変化する。全ての格子を網羅するよう、各パスに配置する整数はあらかじめ用意された。ただし、正解となる経路上にない格子を囲むパスには全て素数を付し、被験者が誤ったパスを選択して正解となる経路から外れた場合は、それに気づくようにした。被験者は、上記のルールに従って、1単位ずつ対象物を移動させ、最終的にゴールまで到達させることが求められた。

③ ナレッジベースのタスク

予測や選択、記憶の参照などの複雑な認知情報処理を伴いながら遂行するタスクとし

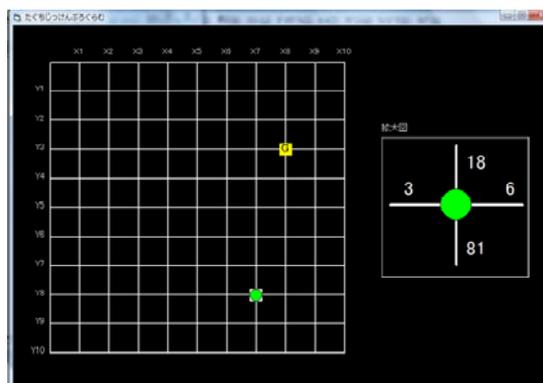


図4 ルールベースのタスク時の実験画面

て、ナレッジベースのタスクは次のように設定された。タスク開始時、タスク域には、スタート点とゴール点、及び対象物が示され、さらにタスク域の右側に対象物が置かれた格子の拡大図が示される(図5)。拡大図には、上下左右の4つのパスが示され、そのうち通過不可能なパスには×が示された。対象物は、通過可能な経路上のみを動かすることができるものとした。個々の格子において、選択することが可能なパスは必ずしも一つではないが、スタート点からゴール点までを移動できる経路(道筋)は唯一とした。個々のパスの通過可能/不可能に関する情報は、対象物が位置する格子に隣接した部分に関してしか視認することができない。従って、被験者は、対象物を動かして周辺の通過可能/不可能に関する情報を得る試行錯誤を繰り返しながら、最終的にゴールまで到達させることが求められた。

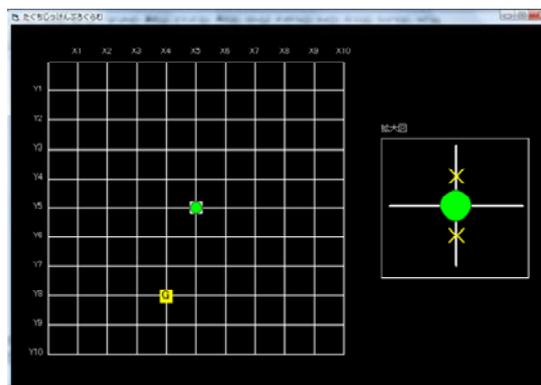


図5 ナレッジベースタスク時の実験画面

いずれのタスクにおいても、各試行について、スタート点からゴール点までの経路は30個のパスの連続からなるものとした。また、正解経路は試行ごとに唯一となるよう、あらかじめシナリオを準備した。

被験者には、最短経路でゴールに到達することを目標とさせた。また、できるだけ短い時間でかつ不必要な操作(タスク域の縁にいる対象物を域外へ動かすような方向キーを押す、対象物が格子上を移動中に方向キーを

押す、など)なく、タスクを遂行することも要求した。

## (2) 指示

被験者に与える指示として、タスク開始前に与えるもの(タスク開始前指示)とタスク中に与えるもの(タスク中指示)との2種類を用意した。

### ① タスク開始前指示

タスクを開始する直前に、被験者には、以下のような指示が与えられた。

・  $x=L1$ ,  $x=L2$  のライン上、 $y=L3$ ,  $y=L4$  のライン上に到達したら、報告せよ。(L1, L2, L3, L4 は、全て 1, 2, 5 を除く 1 桁の整数)

被験者は、対象物が特定のラインに到達した時点で、それを報告することが求められた。なお、報告は、手元の報告キーの打鍵によって行われるものとした。1 回の試行につき、 $x$  の値が 2 つ、 $y$  の値が 2 つ指定され、被験者が 4 回の報告を行うようシナリオが設定された。被験者は、この指示を十分に確認した上でタスクに臨んだ。

### ② タスク中指示

タスク中、被験者には、以下のような指示が与えられた。

・ 応答せよ。

この指示は、対象物が特定のパス上を移動中に与えられるよう、あらかじめシナリオが設定された。被験者は、移動中の対象物が格子状上に到達し静止した時点で、応答することが求められた。なお、応答は、手元の応答キーの打鍵によって行われるものとした。1 回の試行につき、4 回のタスク中指示が与えられた。

## (3) 実験条件

前節の 2 種類の指示を与える方法として、以下の 3 パターンを用意した。

### 条件 1) 聴覚情報による指示

タスク開始前指示、タスク中指示とも、実験者が被験者に口頭で伝えた。タスク開始前指示は、被験者は十分に覚えたこと認識するまで何度発話してもよいものとした。タスク中指示は、一度のみの発話とした。発話する文言が毎回同一となるよう、あらかじめ台詞が用意され、確実に聞き取れるよう配慮した。

### 条件 2) 視覚情報による指示

タスク開始前指示、タスク中指示とも、被験者が装着するシースルー型の HMD (後に詳説) に表示して伝えた。タスク開始前指示は、被験者が十分に覚えたこと認識するまで制限時間なく見ることが許容した。タスク中指示は、1 秒間表示した。表示する文言は、条件 1) と同一とし、短時間で十分視認できるよう、フォントサイズ等を配慮した。また、表示するタイミングも条件 1) と同一となるよう、実験者が制御した。

### 条件 3) 聴覚情報及び視覚情報の併用による指示

タスク開始前指示、タスク中指示とも、実験者が被験者に口頭で伝えるとともに、被験者が装着するシースルー型 HMD に表示した。詳細は全て上述の条件 1)、条件 2) と同様とした。

## (4) 実験装置及び実験環境

対象物の移動方向を指定したり、報告や応答のための操作を行うキーの配置を図 6 に示す。条件 2)、条件 3) において被験者に視覚情報による指示を与える HMD として、Microvision, Inc 製 NOMAD (図 7) を用いた。この HMD は、微弱なレーザー光をユーザの網膜に直接照射し、高速に走査する網膜走査ディスプレイで、被験者は赤で表示される情報を、実視野を見ながら同時に見ることができる。また、タスク用の PC として Dell 製 Vostro 410 を、HMD に映像を出力する PC として Sony 製 VGN-TZ を用いた。

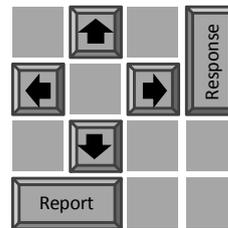


図 6 キー配置



図 7 HMD

## (5) 被験者、実験回数、記録事項

被験者は、19 歳～23 歳の視力に問題のない男女学生 15 名とした。各被験者が、スキルベース、ルールベース、ナレッジベースの各タスクを、3 つの各条件で 3 試行ずつ行った。ただし、試行毎に正解となる経路は異なった。同一のタスクにおいては、条件間での順序効果が生じないように考慮した。いずれのタスクについても、十分に教示を受け、十分に練習を行った後、データ採取に臨んだ。

タスク前指示からタスクが終了するまでの一連の様子は、音声とともにビデオで記録された。また、タスクにおける被験者の操作は、全て自動的に時系列に記録された。

## 4. 研究成果

各タスクにおいて、指示伝達方法の違いがどのように作業パフォーマンスに影響を与えたのかを探るため、タスク遂行上の効率性と正確性に焦点を当てて、実験結果を分析した。

効率性を検討する指標として、以下の 2 項目を調べた

- i. ディスプレイ上にスタート点とゴール点が表示されるタスク開始時から、対象物がゴール点に到達するタスク

終了時まででに要した時間

- ii. 最短経路に対する、記録された経路の比

また、正確性を検討する指標として、タスク中に観察された次の3項目を調べた。

- i. タスク開始前指示に対して正しく報告をしないエラー
- ii. タスク中指示に対して正しく応答をしないエラー
- iii. 格子以上以外で方向キーを押す等の必要のない操作を行うエラー

実験結果をもとに、指示伝達方法による作業パフォーマンスへの影響を、作業状況、指示形態に応じて整理する。さらに、その考察を経て、HMDを用いた視覚情報による指示伝達の応用可能性に関する指針を示す。

- (1) 指示伝達方法による作業パフォーマンスへの影響

実験結果をもとに、指示伝達方法の違いが作業パフォーマンスに与える影響を、作業状況、及び指示形態ごとに次ページ表1にまとめる。

- (2) 視覚情報による指示伝達の応用可能性に関する指針

前節の指示伝達方法の違いが作業パフォーマンスに与える影響に従って、従来口頭、すなわち聴覚情報で行われることが主流であった指示伝達に対して、新たな方法としてシースルー型HMDを用いた視覚情報による指示伝達を応用する可能性として、次ページ表2のような指針を提示することができる。

表1 指示伝達方法の違いが作業パフォーマンスに与える影響

	タスク開始前指示に関する特徴	タスク中指示に関する特徴	その他の特徴
スキルベースのタスク	聴覚情報、視覚情報、及びその併用のいずれを用いた場合でも、そのリアクションに影響は特にならない。	聴覚情報と視覚情報の併用は、慣れたタスクのペースを乱したり、作業者にくどさを感じさせたりするため、誤ったリアクションを誘発する。	聴覚情報のみの場合、慣れによる惰性起因するエラーが生じやすく、タスクの進行を妨げる。
ルールベースのタスク	聴覚情報と視覚情報を併用することによって、リアクションの確実さが増す(失念ににくい)。	聴覚情報、視覚情報、及びその併用のいずれを用いた場合でも、そのリアクションに影響は特にならない。	視覚情報の受信は作業者の能動的な注意によって行われるため、手順的なタスクにおける作業者の認知情報処理を邪魔しにくい。聴覚情報と視覚情報の併用は、微妙な受信タイミングの選択性を残しつつ、二重に情報を与えるため、安心感を与える。
ナレッジベースのタスク	聴覚情報、視覚情報、及びその併用のいずれを用いた場合でも、そのリアクションに影響は特にならない。	聴覚情報、視覚情報、及びその併用のいずれを用いた場合でも、そのリアクションに影響はさほどない。ただし、難しい思考や判断の途中で聴覚情報のみがいられると、リアクションの不確実さが増す可能性がある。	聴覚情報のみの場合、思考や判断等の認知情報処理を分断し、作業者を混乱させて、作業効率を大きく悪化させる危険性がある。

表2 シースルー型HMDを用いた視覚情報による指示伝達応用のガイドライン

作業状況	指示形態	視覚情報による指示伝達の応用可能性
スキルベース (十分に慣れた作業)	タスク開始前指示 (作業方法や留意点などに関する事前の指示)	従来通りの聴覚情報による指示でよい。もし、聴覚情報による指示が困難な場合や、それだけでは不安な場合は、視覚情報による指示を用いることができる。
	タスク中指示 (リアルタイムの指示や別の作業の割り込み)	視覚情報による指示が惰性によるエラーを防ぐ上で効果的である。ただし、従来の聴覚情報による指示との併用は、作業者に混乱を与えるため避けるべきである。
ルールベース (決められた手順を追って行う作業)	タスク開始前指示	聴覚情報と視覚情報の二重の指示は、失念の防止に繋がるため、効果的である。
	タスク中指示	従来の聴覚情報による指示に加えて、視覚情報による指示を用いることで、タスクのシーケンシャルな流れが分断されにくくなる。また、二重の指示を与えることは、作業者の安心感にも繋がる。
ナレッジベース (予測や判断を伴う不慣れた作業)	タスク開始前指示	従来通りの聴覚情報による指示でよい。もし、聴覚情報による指示が困難な場合や、それだけでは不安な場合は、視覚情報による指示を用いることができる。
	タスク中指示	従来の聴覚情報による指示に加えて、視覚情報による指示を用いることで、作業者の思考や予測などの認知情報処理を阻害しにくくなる。聴覚情報を用いることが困難な場合は、視覚情報のみによる指示でも、同等の効果が得られる。

### (3)まとめ

本研究では、作業員間の指示伝達に対して、従来主であった聴覚情報だけでなく、シースルー型HMDを用いた視覚情報を適用する可能性について、指示伝達のシチュエーションを考慮した検討を行った。特に、本研究では、作業状況、および指示形態を分類して、どのようなシチュエーションで視覚情報による指示伝達が有効に働くかを探った。異なるシチュエーションを想定した実験を行い、聴覚情報による指示、視覚情報による指示、両者の併用による指示を行った場合の作業パフォーマンスを多角的に分析して、各々のメリット・デメリットをまとめた。そしてさらに、それらに基づいて、シースルー型HMDを用いた視覚情報による指示伝達の応用可能性に関する指針を作成した。

この指針は、現場サイドが、それぞれの作業状況に応じた新たな指示伝達方法の導入を検討する上での有用な材料となりうる。また、この指針に基づいて、より適切な指示伝達方法が導入されれば、従来の方法では解決することのできなかった指示伝達方法に起因する組織エラーや効率の悪さ、作業員の不快感が緩和されることが期待できる。さらに、このように、新たな技術をどのように適用することが効果的かを現場に提示していくことは、作業方法や作業環境のよりよいデザインに繋がるとともに、技術開発のモチベーションとスピードを促進することができるだろうと見込まれる。

なお、本研究の成果は、安全工学、及びヒューマンファクターズに関連する国際会議にて発表し、論文化のオファーを受けて現在投稿中である。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- (1) Guidelines on Applicability of Visual Instruction with See-Through HMDs Depending on the Task. : Miwa Nakanishi, Keiichiro Taguchi, Yusaku Okada, Applied Ergonomics, Accepted, (2010)
- (2) Digital manual with wearable retinal imaging display for the next innovation in manufacturing. : Miwa Nakanishi, Tomohiro Sato, Proceedings of AHFE (Applied Human Factors and Ergonomics) 2010, Printing, (2010)
- (3) ウェアラブルディスプレイを用いたマニュアル提示形態の評価—心的評価に焦点を当てて—. : 中西美和, 佐藤知裕, ヒューマンファクターズ, 14(2), 79-87, (2010)

- (4) How can Visual Instruction with See-Through HMD be Effectively Used in Safety-Critical Fields?. : M. NAKANISHI, K. TAGUCHI, Y. OKADA, Proceedings of APSS (Asia Pacific Symposium on Safety) 2009 in Osaka, Japan, on CD-ROM, (2009)
- (5) Mathematical modeling for determining effective information quantity given by augmented reality manual -overlay on dynamic background-. : S. TAMAMUSHI, M. NAKANISHI, Y. OKADA, Proceedings of APSS (Asia Pacific Symposium on Safety) 2009 in Osaka, Japan, on CD-ROM, (2009)
- (6) Study for Establishing Design Guidelines for Manuals Using Augmented Reality Technology -Verification and Expansion of the Basic Model Describing “Effective Complexity” -. : M. NAKANISHI, S. TAMAMUSHI, Y. OKADA, Proceedings of ICEIS (International Conference on Enterprise Information Systems) 2009, on CD-ROM, (2009)

[学会発表] (計0件)

[図書] (計1件)

- (1) “Human factor guideline for applying AR-based manuals in industry” in the book of “The Horizon of Virtual and Augmented Reality” (1 chapter writing). : Miwa Nakanishi (Soha Maad(Ed.)), In-tech, 130-156, 2010.

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等  
なし

### 6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
中西 美和 (NAKANISHI MIWA)  
研究者番号 : 70408722
- (2) 研究分担者  
なし
- (3) 連携研究者  
なし