

## AR 技術と CG を用いた危険物提示による疑似感覚影響の検討 Verification of Pseudo-Haptics from Dangerous Display in Necessary Safety Check Booting System using Augmented Reality Technology and Computer Graphics

三橋 郁

Kaoru Mitsuhashi

In previous paper, we suggested the booting system for necessary safety check using AR (Augmented Reality) technology. The machine tool and many switches are equipped with AR markers, and the workers have the USB camera on head side. Therefore, the switches are measured correctly, and the workers can check the safety using USB camera and AR technology. However, we have not considered the verification of the operating time problem. Human see the dangerous incident or image, if they recognize the dangerous condition. Therefore, they are afraid of the dangerous and practice the safety work. In this paper, booting system for necessary safety check is suggested using AR and CG on the operating time. It shows the dangerous condition and region virtually, and makes the machine stopped when it recognizes the dangerous condition. In addition, the worker feels the pseudo-haptics and avoid from the dangerous CG (source).

Keywords: Augmented Reality (AR), Necessary Safety Check, Safety Check Process, Computer Graphics (CG), Dangerous display, Dangerous distance, Pseudo-haptics

### 1. はじめに

現在、全ての産業において、技術指導や講習にて安全教育が数多く実施され<sup>[1]</sup>、安発生事故件数は毎年減少している<sup>[2]</sup>。これは、自動化や NC などの安全停止機能を有する工作機械等の普及が要因でもあり、センシング技術の発達により、光カーテン等のタッチセンサーや光センサーによる危険領域侵入の回避に対する効果は大きい。しかしながら、安全停止機能を搭載できない工具や工作機械が多いため、完全に事故の発生を防ぐことはできない。別の安全対策として、第三者による監視を挙げることができるが、第三者が人間である以上、安全確認作業の不十分や人間の誤認識（ヒューマンエラー）により危険状態を見逃す可能性がある。人間の作業は怠惰や誤りを起こしてしまうことは仕方がなく、その原因に対して教育や指導の徹底だけでは解決することはできない。すなわち、安全教育の徹底、自動安全停止システム、第三者監視の3つの単独的な対策のみでは、不安全状態の例外事例が多く存在し、安全性を確保することが難しい。

そこで、新たな対策として、全ての危険な装置や作業に対し、できる限り一律的かつ自動的に安全停止が発生する安価で容易なシステムを提案することが重要であると考えている。ヒューマンエラーを事前に防ぐための安全教育対策の1つとして、VR (Virtual Reality) と3次元CG (Computer Graphics) の組み合わせを用いて危険状態

や事故状態を映し出すシミュレーションは数多く存在する<sup>[3]</sup>。これは啓蒙や教育訓練によるシミュレーション対策の1つではあるが、実際の現場にてCG提示の安全認識に対する効果は不明瞭な点が多く、CGを現実として認識しているのかも不明である。

前報では一般的に普及しつつあるAR (Augmented Reality ; 拡張現実感) の画像処理技術を用いて、機械作業状態を安全視認作業が完了したときのみ起動するシステムを提案し、そのシステムの機能性と作業者の安全視認特性を検証した<sup>[4]</sup>。工作機械の事前準備作業を一例に、不安全活動の可能性を列挙し、AR技術と画像処理機能を搭載した装置の動作準備による安全確認への有効性を調査した。

しかしながら、本実験では事前準備段階での本システムによる安全視認必須化は達成できたが、最も重要である機械稼働時でのシステムによる安全視認による安全状態の判断を明らかにしていなかった。このシステムが危険状態や不安全状態を人間に認識させるか、機械を自動的に停止させなければ、人身事故が発生する可能性がある。そこで、安全視認を強制させるだけでなく、「事故が起きてしまう」危険意識を作業者に認識させ続けることも重要である。事故の発生原因は、学習完了直後の作業者の曖昧な記憶によるものだけでなく、熟練者の油断からの不注意もあるためである。その一方、人間が危険状態を認識できても、故意もしくは偶然に関わらず、その

領域に侵入してしまう可能性があり, 侵入した時点で機械を停止させる必要がある。

本研究では, AR 技術と CG を用いて, 工作機械などの装置稼働時の危険状態に対して危険領域と危険物を仮想的に提示させるシステムを提案し, 作業者の深層心理に危険状態を認識させることを目的とする。本システムは, 回転中の危険物体周囲に対して, 人間が危険や恐怖を感じる形状物と色彩を提示させる。これにより, 危険物を見ているだけで, 痛い・怖い・気持ち悪い等の疑似力覚や疑似触覚を作業者に与えることを期待している。さらに, 作業者が危険領域の安全視認を怠った瞬間または一定の距離以内に接近した瞬間, 画像認識により装置を即時に停止させる。その後, 前報同様に, 装置のスイッチやレバーに AR マーカーを取り付けて, 作業者の安全視認作業を検証する。危険な回転物であるチャック付近のみ危険領域と危険物を仮想的に提示させ, そのときの作業者の動作を調査する。

## 2. 疑似力覚と疑似触覚の安全への応用

AR 技術を用いた安全視認必須起動システムは, AR マーカーの状態から安全であるのかを検出し, すべての状態が安全と判断できたときのみ装置の動作を許可(電源を投入)する。危険作業時は, VR や AR 技術の特徴の 1 つである CG 操作案内や危険物 CG の提示も可能である。しかしながら, 危険作業時の CG 提示の危険認識に対する効果を確認できていない。その一方で, VR の CG 提示は“重い, 痛い, 熱い”等の現実物にはない疑似的感觉(疑似力覚・疑似触覚)を与えることが知られている<sup>[8]</sup>。

疑似触覚とは, 視覚情報のみで実際には存在しない物体の表面形状に対して, 実態の物体を触っているような感覚を感じる現象である<sup>[10]</sup>。例えば, 実際には凹凸のない滑らかな表面に対して, ザラザラした表面の写真を提示しただけで, 触っているときはザラザラしていると思ってしまう。疑似力覚とは, 疑似触覚と同様に, 視覚情報のみで実際には存在しない物体に対して, 重さや痛さなどを感じてしまう現象である<sup>[8], [11]</sup>。例えば, 岩や鉄球等の大きくて重そうな映像を提示させながら, 偽物の物体を持たせることにより, 実際の重さよりも重く感じるという結果が出ている。

本研究においても, 疑似触覚または疑似力覚を利用した危険源を回避する手段として応用の可能性を提案する。危険物 CG を疑似的に提示することにより, 作業者は疑似的感觉を得て, 瞬時的または潜在的ではあるが, 危険源から回避できることを期待している。ただし, 危険物 CG を提示させることにより, 疑似力覚または疑似触覚の発生があると推測しているが, CG 提示による作業者の行動や心理の変化は明らかにされていない。

そこで, 危険物 CG を用いた疑似力覚触覚効果を確認することにより, AR 危険提示による疑似感觉の効果を検証する。危険作業中の危険源に対して危険物 CG を仮想的に提示させ, 作業者を危険源から遠ざけたときの作

業者の危険認識や行動心理の変化を明らかにするために, 危険物 CG 提示を用いた疑似力覚または疑似触覚発生による人間の危険源回避有無の可能性を調べる。そのために, 危険源に対して人間が危険や恐怖を感じる形状物と色彩を用いて危険物 CG を提示する方法を調べる必要がある。

危険物 CG の提示方法は, 提示タイミング, 提示時間である。一般的に, 危険と感じる色彩は, 赤色, 黄色, および黒色であり, 警告色とも呼ばれている。その一方, 危険と感じる形状物は, 巨大な物体, 刃物等の鋭利な形状物が該当するが, 形状自体の危険または落下や襲撃などの物体の動作自体に危険を感じる事が多い。本研究では, 表 1 の危険物 CG と予想される発生感覚, AR マーカーによる危険源へ CG を提示する方法を用いて, 危険作業直前または作業中に危険物 CG を提示させる。その後, 作業者に危険物 CG を提示させることにより, 危険源からの回避距離の変化を調べる。

## 3. 安全視認必須起動システム

### 3.1. 安全視認作業工程

前報では<sup>[4]</sup>, 安全確認の「危険を伴う機械的動作は, 安全の確認を許可の条件とする」の原理に則り<sup>[5]</sup>, 安全視認作業を強制的に実施させてきた。安全を確認するためには, 予め正しい計画を立て, 自他で作業前に確認することが必要である。これは, 機械稼働時においても同様であり, 稼働中も常に安全確認を意識する必要がある。

そこで, 図 1 に示すように, PDCA (Plan, Do, Check, Action の頭文字) の考えに基づいた安全確認作業工程を再度設定した。準備段階 (Ready time) において, Plan では, 図面や CAM から加工作業を予め決められた計画があるかどうかを判別する。Setting では, Plan の加工作業計画に基づいた回転数や送り速度などの機械的条件の正しさを判別する。Check では, Plan と Setting の作業状態を実際に準備しているのかを視認する。何れかの工程中に 1 つでも誤りがあれば, 機械は動作しない (Not Drive)。全ての作業工程が正しく, 安全確認作業が完了したときのみ, 電源が起動され, 機械操作作業を許可させる。

その後, 作業中 (Operating time) において, Switch では, 回転機械のモータ起動を確認する。モータが稼働していないときは安全と判断し, 各種の作業を続けることができる。稼働中のモータに接触する行為を事故と定義

表 1 労働事故対象と危険物 CG と発生感覚

対象	発生事故	危険物CG	発生する感覚
切削機械	切り傷	刃物	痛い
高温炉	火傷	火炎	熱い
液体窒素	低温火傷	氷	痛いor熱い
プレス機	挟まり	落下物	痛い
配電盤	感電	雷・発行物	眩しいor痺れ?
化学薬品	火傷	爆発物	痛いor怖い

し、モータが稼働しているときは、接触事故を起こす可能性あるため、危険の可能性ありと判断し、次の Approach の判断に移行する。Approach では、回転する危険物（旋盤ではチャック、高温炉では炉内）と身体との接近距離を判定する。ある一定の距離以内に身体が侵入した場合は、直ちに動作する装置を即刻停止させる。すなわち、

準備段階ではすべての作業が安全と確認できた時点で機械の稼働を許可し、作業中では回転する危険物への接近・接触の可能性あるときに危険と判断して、機械を強制的に停止させる。

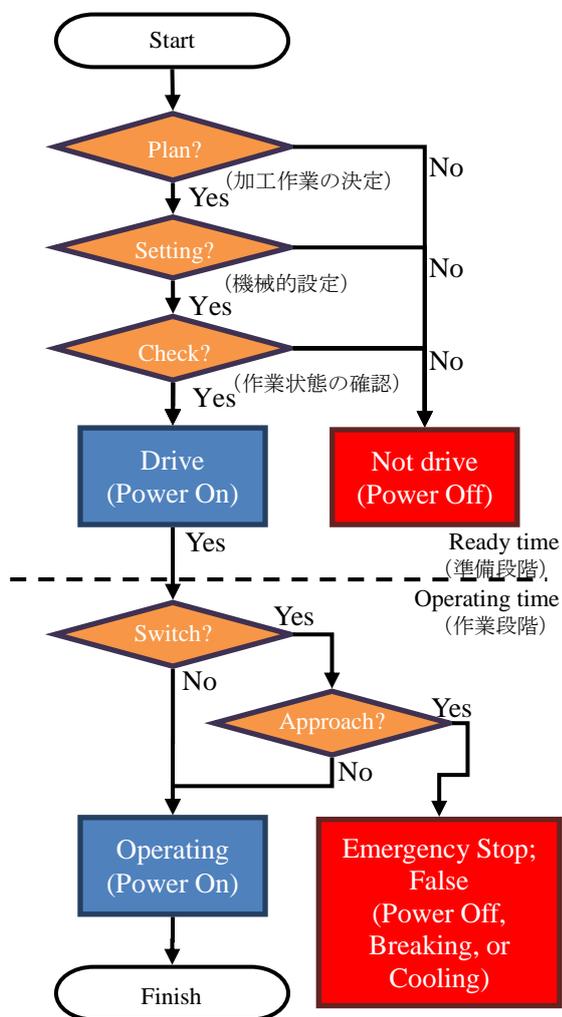


図1 安全作業工程

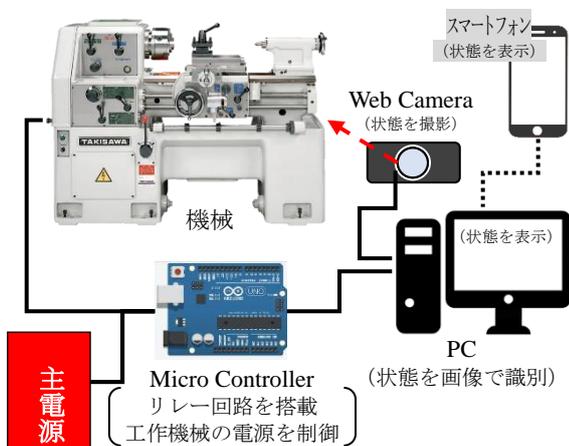


図2 安全視認必須起動システム

### 3.2. 安全視認作業確認設備

安全作業許可を確実に実行させるために、安全の確認を許可するための設計やプログラム等のソフトウェアによる提示だけでなく、物理的に動作を停止させるハードウェアの外挿（ブレーキや急冷却装置）も必要である。そこで、安全視認作業を強制的に実施させるためのハードウェアシステムを提案する。図2に工作機械を一例とした安全視認必須起動システムを示す。図2より、工作機械と主電源の接続間にマイクロコントローラーを挿入し、その側にリレースイッチを搭載する。マイクロコントローラーのプログラムには図1の安全作業工程のプログラムは既書き込まれている前提である。次に、webカメラとディスプレイを接続したPCを用意し、マイクロコントローラーと接続させる。ただし、カメラ、ディスプレイ、PCはスマートフォンやタブレット端末でも可能である。

webカメラにて安全状態を撮影できたとき、ディスプレイに安全であることを表示する。不安全状態または安全側故障時や危険状態の場合は、危険であることを表示する。準備段階では、全ての状態が安全であるとして作業許可を決定したときのみ、リレースイッチを搭載したマイクロコントローラー一部へその指令を送り、その時点で工作機械へ電源が供給することができる。加工作業中では、回転や高温の危険物への接近・接触の可能性あると判断したときのみ、電源供給を停止させ、回転物にブレーキをかけることや急冷却機能を稼働させる。

### 3.3. ARToolKitを用いた安全視認確認システム

VR技術の1つとしてARによる画像処理技術がある。AR技術は現実空間に対して、カメラがマーカまたは何らかの色・形状を映し出したときに、CG等を提示する技術である。既に、VRと3次元CGの組み合わせを用いて危険状態や事故状態を映し出すシミュレーションがある。学習者が仮想空間の情景に存在するような感覚を得ながら、器物落下、転落、衝突、火災等の危険な状態を映し出すものである<sup>[3]</sup>。一方、AR技術は現実空間を用いるため、VRよりリアリティを感じる可能性がある。現実空間の設置が容易であることが利点であり、AR用のソフトウェアさえあれば、センシング機能としてAR画像処理技術を安全対策にも応用できると期待している。

本論文では、前報と同様に安全監視者としてAR技術を利用するだけでなく、危険状態箇所に対してCGを用いて危険領域と危険物体を提示させる。作業者は監視者に見られて作業していると感じながら、危険状態に対して痛い・怖い等の疑似的な感覚を抱きながら作業する。図3(a)に示すように、旋盤の作業箇所ARマーカを貼り付ける。安全状態表示はスマートフォンまたはPC

よびチャック付近の安全確認表示に変化する。

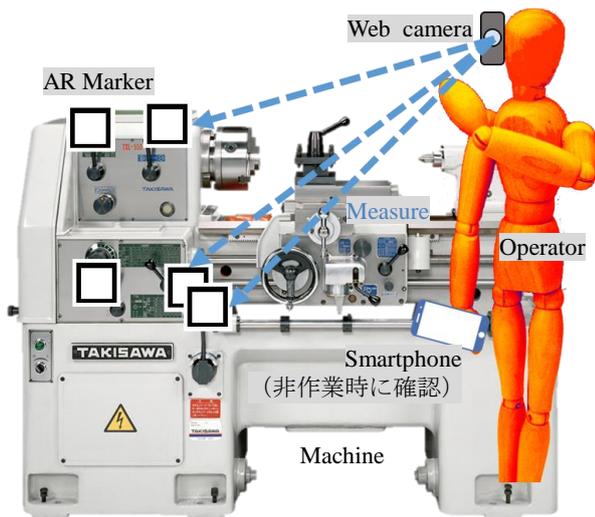
#### 4. 危険状態提示による作業者への注意喚起

前章に述べた通り, AR 技術はセンシングとしての機能だけでなく, マーカーや特定の情景を用いて現実空間に直接 CG を提示させることができる. これにより, 作業者への指導, 注意, およびシミュレーション等を提示させて理解向上や誤解の防止の支援技術となる. そこで, 本システムは, 稼働中の機械の危険箇所に対して, CG を用いて危険状態を表現する.

提示する危険状態は, 作業者が危険と感じるものでなければならない. 一般的に, 危険と感じる色彩は, 赤色, 黄色, 黒色であり警告色とも言われている<sup>[6],[7]</sup>. 赤色は, 赤信号, 注意喚起標識, 血液の色, 非常ベル, 緊急自動車のサイレン等に使用されている. 赤と白の組み合わせで使用させていることが多い. 黄色と黒色は, 立入禁止のタイガーロープ, 強い光の色, 危険物の注意表記等に使用されている. 一方, 危険と感じる形状物は, 巨大な物体, 刃物等の鋭利な形状物が該当するが, 形状自体に危険を感じることで, 落下や襲撃などの物体の動作自体に危険を感じる人が多い.

本研究では, CG を用いて危険領域および危険物体を提示する. 危険領域は半透明状態のポリゴン平面を用いて表現し(実際には点群の集合を提示させる). 危険領域の色は, 赤色一色または黄色と黒色の虎縞(タイガーロープ)である. 危険物体は, 多数の円錐形状を用いて, 剣山(棘の集合体)に似せた危険物を表現させている. 剣山形状が作業者に迫ってきたとき, 誰でも瞬間的かつ無意識に回避すると予想したからである. 動作の表現については今後の課題とする. 図 4 に危険源に CG を用いた危険領域と危険物体を示す. 作業者の web カメラより, 回転スイッチが ON のとき, 危険状態付近の AR マーカーを認識した瞬間に, 危険領域・危険物体がスマートフォンや PC の画像に提示される. 旋盤とボール盤の危険位置を共に回転中のチャック箇所を設定している. これは FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) より, チャックの接触による事故が多いためである. 稼働時には, 作業者の衣服や手がある一定の距離以内に接近した時点で主軸を強制停止させる. 回転主軸との距離は, 手や衣服または装置に AR マーカーを取り付け, 固定用マーカーとの距離で判別する. これにより, 作業者が, 偶発的でも故意でも主軸接触直前に停止できることを期待している. ただし, 主軸停止までの時間は 3 秒と言われている<sup>[4]</sup>. そこで, 危険領域は主軸停止の 3 秒以上の距離を設定する必要があるが, 残念ながら旋盤やボール盤などの加工作業では安全な距離を確保することは極めて難しい. そのため, 危険停止距離の設定は今後の課題となる. 本研究では, 加工作業を妨害しないが, 安全作業を保てる距離として, 旋盤は 300mm, ボール盤は 100mm とした.

その他の事故が発生する可能性として, 高温炉での火



(a) 旋盤に AR マーカーを搭載したときの様子

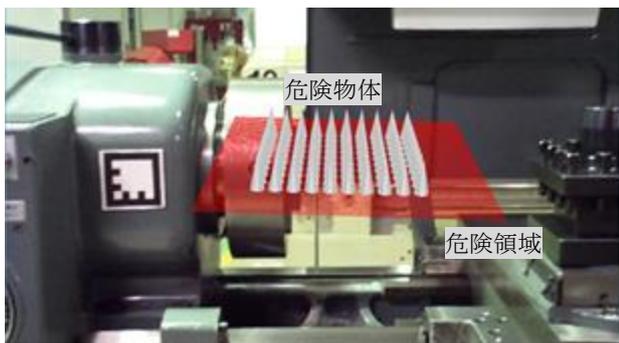


(b) 安全状態のディスプレイ表示

図 3 ARToolKit を搭載した安全確認システム

にて表示する. AR 空間用マーカーは前報と同様に利用し, 機械本体に貼り付ける. その一方, ボタンスイッチ, レバー型スイッチ, 工作物, 工具に対しては, AR スイッチ用マーカーに該当する AR マーカーを貼り付ける. AR 空間用と AR スイッチ用の 2 つのマーカー間の距離(位置)と角度(姿勢)を計測することができるため, ボタンスイッチは位置, 回転盤やハンドルは姿勢, レバー型スイッチは位置または姿勢を計測することにより, 機械の状態を識別することができる.

作業者は市販の USB カメラを保護眼鏡の側面に搭載し, 安全確認を普段通り実行する. web カメラは AR マーカーを認識し, ARToolKit のプログラムにより<sup>[4]</sup>, AR マーカーの状態(位置と姿勢)により機械の状態を判定する. 図 3(b)のように, 判定したときの機械状態を PC 画面またはスマートフォンに表示させ, 作業者は安全状態であるのかを知ることができる. 安全状態表示は画像処理用ライブラリ OpenCV を用いて“安全(Safe)”および“危険(Danger)”を表している. 安全条件に達したときのみ, “安全(Safe)”が表示され, その他の状態では, 全て不安全状態または危険状態と設定し, 理解しやすさを考慮して常に“危険(Danger)”を表示する. 準備段階ですべての作業が安全になった後, 稼働スイッチお



(a) 旋盤の主軸とチャック



(b) ボール盤の主軸とチャック

図 4 危険領域・危険物体のディスプレイ提示

傷や頭上の衝突を該当する。そこで、火傷事故の危険源には炎の CG，頭上衝突の危険源には落下する岩の CG を用意した。図 5 に、高温炉での炎の CG および頭上の岩の CG を示す。危険物体の提示方法は、危険領域や棘と同じである。図 5(a), (b)より、高温炉の内部のみでなく、扉の時点から炎を提示させている。これは高温炉を開扉する以前から危険源の有無を知らせるためである。すなわち、非現実的な状況を VR にて提示できる利点を活かしている。図 5(c), (d)より、頭上に存在するホースやエアガンに衝突する前に、巨大な岩を提示させている。これにより、作業者が一瞬でも危険停止距離が増えることを期待している。

## 5. 危険提示機能の検証

機械稼働中において、作業者が危険領域と危険物体を見たとき、疑似触覚や疑似力覚の発生による作業者の行動は不明である。一般的には、何らかの物体映像を見るだけでも、心理的な抑圧によって普段の位置から遠ざかる傾向があると言われている。何かを見るだけで、何もされていないことも、動作が軽く感じることや重く感じる言われている<sup>[8], [9]</sup>。そこで、作業者が危険領域や危険物体等の危険 CG に対して、危険認識や疑似力覚または触覚を持ちながら作業をしているのかを調査



(a) 高温炉閉扉時



(b) 高温炉開扉時



(c) 頭上ホース



(d) 頭上エアガン

図 5 高温炉と頭上物の危険物提示

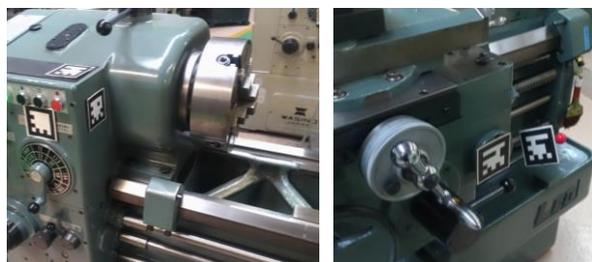
する。

図 6 に示すように、旋盤、ボール盤共に主軸頭付近に AR 空間マーカーを取り付けてチャックとその周辺に危険 CG を提示させた。危険 CG は半透明の赤いポリゴン平面 1 枚と複数の先端が鋭利な円錐形状の棘である。この実験では、VR/AR による作業者への心理的のマーヅを期待している。

作業者に HMD (Head Mount Display) を取り付けながら、機械を操作する作業が望ましいが、作業中に CG が急に提示されるのは極めて危険な状態である。そこで、今回の実験では図 3(a)に示すように、作業者は予め危険

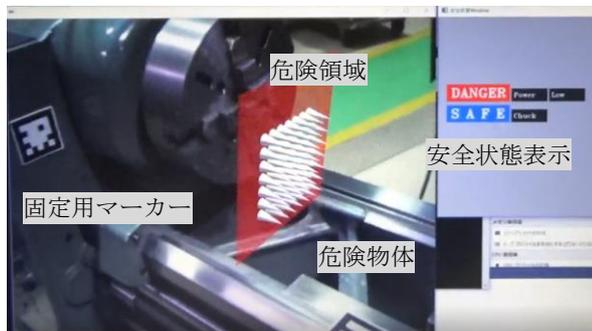
源を見てスマートフォンに危険物体を表示させ、作業者はそれを予め見た後に作業する。作業者は作業中に危険CGを見ることはないが、危険CGを予め見ておくことで、作業時における危険領域からの距離が広がり、無意識に安全（危険回避）への意識が高まると予想している。

AR マーカーサイズは 78mm×78mm である。多くの AR マーカーサイズを大きくした理由は、web カメラが正しく位置・姿勢の情報を読み取らせるためである。作業手順では、作業者は上下移動のレバースイッチを入力し、web カメラを用いて AR マーカーを撮影することにより、危険 CG を提示させる。今回の加工作業は工作物を切削しないが、チャック（モーター）は回転させる。加工作業は、旋盤では横移動ハンドルを回してチャックに徐々に近付き、ボール盤ではバイスを左手に添えて固定させながらハンドルレバーを上下に移動させる。そのとき、



(a) チャック付近 (b) スイッチレバー

図 6 危険領域・物体を表示させる AR マーカー



(a) 旋盤の主軸とチャック



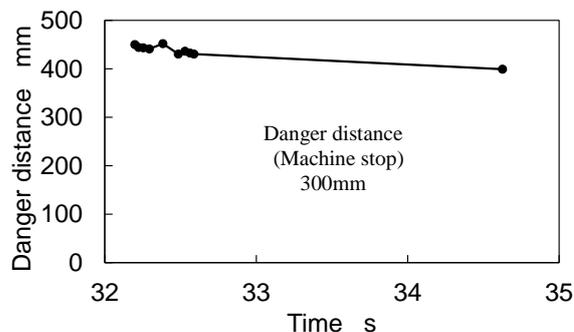
(b) ボール盤の主軸とチャック

図 7 稼働中の危険領域・危険物体の表示

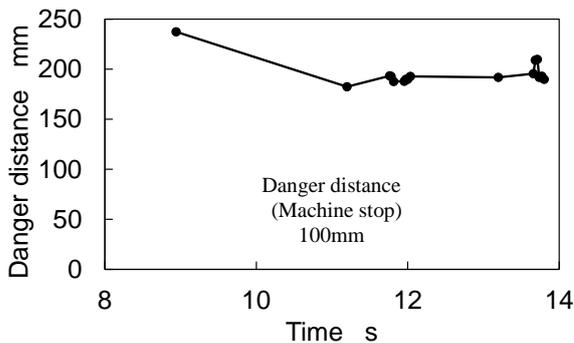
旋盤では刃物台の位置に AR マーカーを設置し、ボール盤ではバイスに添えた左手にマーカーを付着させる。

危険距離として旋盤は 300mm、ボール盤は 100mm 以内に接近した瞬間を“危険 (Danger)”と認識して終了とする。上記の距離に設定した理由は、加工作業中に最も近付くと思われる最接近距離としている。ただし、回転盤の角度やレバーの位置の計測では、完全な角度や位置決めをすることは難しいため、誤差の範囲を設定する必要がある。回転盤は設定角度値より±10 度、レバーは±20mm を誤差範囲とする。この誤差範囲であれば、誤った計測を認識することがない。

作業者に搭載した web カメラから観た安全視認作業の様子を図 7 に示す。図 7 より、作業者の頭部が移動により揺れてしまっているため、AR マーカーの画像認識が遅れることがあるが、危険 CG は安定して提示することができた。しかしながら、HMD で作業をすると、画像の揺れにより気分を悪くする可能性が高いため、作業者には、予めスマートフォンによる CG 提示のみが適切で



(a) 旋盤の主軸とチャック



(b) ボール盤の主軸とチャック

図 8 稼働中の危険源 (CG) との距離

表 2 危険物CGによる危険源回避距離平均 (単位はすべて mm)

	CGあり	CGなし
旋盤	398	353
ボール盤	178	152
高温炉	263	229
頭上物	532	525

あることがわかった。

図8の加工作業時の危険CGとの距離測定結果を示す。図8(b)より、ボール盤の作業では不注意にチャックへ接近することはなかった。図8(a)より、旋盤の作業では刃物台が300mm以内の距離に近付いていることがあったが、身体はチャックから300mm以上離れていたため、危険領域に侵入しているわけではない。この実験のみでは危険CG提示の疑似力覚に対する効果は不明である。これは作業者が予めチャックの危険性を認識していることも要因である。

そこで、作業被験者を増加し、多くのデータを解析する必要がある。高温炉、頭上物の危険源に対しても同様に調べた。高温炉は炉内の物体をプライヤーで取り出す作業、頭上物はフライス作業中の通行を想定した。そこで、危険物CG提示有無による危険源からの回避距離を比較した。被験者はCG提示あり、CG提示なしを各3名ずつとし、各被験者の危険源回避距離を計測した。危険回避距離は、固定マーカーを基準として、予め危険源位置を設定した場所(危険CG)と被験者に搭載したwebカメラとの最小距離である。実験を繰り返すと、危険作業に慣れてしまい、疑似力覚に対するCG提示の効果が薄れる可能性があるため、被験者群はCG提示あり・なしで区別している。表2に旋盤、ボール盤、高温炉、頭上物に対する危険源から平均危険源回避距離を示す。表2より、すべての実験においてCG提示ありの方がCG提示なしより危険源からの距離が長かった。被験者の個人差により発生する可能性があるが、実験全体では、CG提示有無の差は10%前後であることから、CG提示は作業者に対して何らかの疑似的な危険なイメージを植え付けている可能性がある。ただし、作業を実行させるために、大きな危険源回避距離を生み出すことは難しいと思われる。

さらに、危険物の提示がスマートフォンによる一時的な提示であることから、常時HMDを身につけている状態と比べると、疑似力覚に対する危険CGの効果は低いと考えられる。今後は、作業者に負担がかからないHMDでの作業実験が必要であると考えている。その他の課題として、危険領域を認識したときの距離の計測、危険領域に侵入した時点での緊急停止措置、危険領域距離の再設定、他のVR/ARを用いた安全認識に対する作業者心理の影響を調べる事が挙げられる。

## 6. まとめ

本研究では、AR技術とCGを用いて、工作機械稼働時の危険状態に対して危険領域と危険物を仮想的に提示させるシステムを提案した。始めに、準備段階と機械稼働中を組み合わせた安全作業工程を設計した。準備段階とは異なり、機械稼働中ではすべてが危険状態と判断されたときに機械を停止させる。次に、旋盤およびボール盤を対象とし、回転中のチャック付近が最も危険であることから、ARToolKitを用いて人間が危険や恐怖を感じる

赤色領域および鋭利な円錐型の棘のCGを提示させた。

その後、工作機械のスイッチやレバーにARマーカーを取り付けて、作業者の安全視認作業を検証した。その結果、危険領域に侵入することはなかった。ただし、危険CGを提示させたとき、作業者の危険回避距離が増加していることは確認できた。そこで、作業被験者の増加、危険領域を認識したときの距離の計測、危険領域に侵入した時点での緊急停止措置、危険領域距離の再設定、他のVR/ARを用いた安全認識に対する作業者心理の影響を調べる事が今後の課題である。

## 参考文献

- [1] 厚生労働省労働基準局：設計技術者，生産技術管理者に対する機械安全に係る教育について，基安発0415第3号，平成26年4月15日
- [2] 労働災害死者数：  
<http://icchou20.blog94.fc2.com/blog-entry-412.html?sp>  
閲覧日：平成30年1月10日
- [3] 藤井秀樹，吉村忍，高野悠哉：「マルチエージェント交通流シミュレーションにおける交通事故モデリング」人工知能学会論文誌 Vol.26, No.1, pp.42-49 (2011)
- [4] 三橋郁 “AR技術を用いた安全視認必須起動システムの検討”，技能科学研究，34巻，1号，(2018)：79-85
- [5] 蓬原弘一，杉本旭：「安全確認型作業システムの論理的考察」，日本機械学会C編，Vol.56, No.529, pp.60-67(1990)
- [6] Lev-Yadun, Simcha. "Aposematic (warning) coloration in plants." *Plant-Environment Interactions*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. 167-202.
- [7] Gamberale, Gabriella, and Birgitta S. Tullberg. "Aposematism and gregariousness: the combined effect of group size and coloration on signal repellence." *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 265.1399 (1998): 889-894.
- [8] 橋口哲志, et al. "RV Dynamics Illusion: 実物体と仮想物体の異なる運動状態が重さ知覚に与える影響." *日本バーチャルリアリティ学会論文誌* 21.4 (2016): 635-644.
- [9] 郭立新, et al. "仮想現実感における共感覚に基づく力覚表現法の基礎検討." *電子情報通信学会論文誌 D* 81.10 (1998): 2376-2384.
- [10] 衛藤春菜, 的場やすし, 佐藤俊樹, 福地健太郎, 小池英樹, 梶本裕之. "指先への電気刺激により触覚提示を行うタッチディスプレイ技術." *情報処理学会インタラクティブ2012* (2012). 105-112
- [11] 山崎拓真, 花井誠一, 新井賢太郎, 瀬尾明彦, "疑似力覚を用いた動作訓練における訓練効果の検討". *人間工学*, 51(Supplement), (2015), 186-187

(原稿受付 2019/01/09, 受理 2019/03/14)

\*三橋郁, 博士(工学)

職業能力開発総合大学校, 能力開発院, 〒187-0035 東京都小

平市小川西町 2-32-1 email:k-mitsubishi@uitech.ac.jp  
Kaoru Mitsuhashi, Faculty of Human Resources Development,  
Polytechnic University of Japan, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi,  
Kodaira, Tokyo 187-0035.