

# AR技術を用いた安全視認必須起動システムの検討

## Suggestion and Verification of the Booting System for Necessary Safety Check using Augmented Reality Technology

三橋 郁

Kaoru Mitsuhashi

The safety system is recently developing using microcontroller and sensing, such as the safety mode of the numerical control (NC) for machining center, the light curtain for press machine etc. However, the manual control device/tool cannot be developed, because integrating the sensor or the microcontroller is difficult. In this paper, we suggest the booting system for necessary safety check using AR (Augmented Reality) technology. First, the safety check process is constructed as a reference of PDCA using programming. After that, we confirm the validity of the system for safety check using AR technology, the safety check function of the machine tool and switches is investigated by some workers. 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.

Keyword: Augmented Reality (AR), Marker Recognition, Necessary Safety Check, Safety Check Process

### 1. はじめに

現在, 全ての産業において, 安全確認作業は強く推奨されている。技術指導や講習にて安全への啓蒙や教育が実施されているが<sup>[1]</sup>, 安全指導による効果は不明である。発生事故件数は毎年減少しているのは<sup>[2]</sup>, 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る。特に, センシング技術の発達により, タッチセンサーや光センサによる危険防止効果は大きい。しかしながら, 発生事故件数の減少傾向も飽和しつつある<sup>[2]</sup>。工具や工作機械の構造的限界により, 現在でも安全停止機能を搭載していない工具や工作機械の作業が多いため, 完全に事故の発生を防ぐことはできないからである。発生事故の多くは, 安全確認作業の不十分や誤認識が原因であるが, 人間の作業は怠惰 (Laziness) や誤り (human error) を起こしてしまうことは当然であり, 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, 人間は安全確認作業を怠ってしまうときがあることは仕方がないと認識するべきである。

安全対策として, 事故が発生する可能性がある装置や作業の全てに自動安全停止装置を搭載することが理想であるが, 装置内の OS の書き換え負担, マイコン非搭載により自動停止機能搭載化への負担, 外付け安全装置搭載費用の負担, 作業効率低下の懸念などの理由により, 安全停止機能の搭載を推奨することにも限界がある。さ

らに, 各工具・工作機械に対して一律に対策が異なることによる負担も大きい。他の対策として, 第三者による監視も挙げることができるが, 第三者が人間である以上, human error により危険状態を見逃す可能性がある。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。これにより, 更なる安全性の向上が期待できると推測している。

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>。このシミュレーションは, 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。建設作業を一例に挙げると, 狭い通路を歩行中に足を踏み外して転落する, 頭上から鉄柱が落下してくる, 背後からフォークリフトやトラックが迫ってくる等である。この利点は, 作業前に予め発生し得る事故を再現することができ, 3次元 CG 表示により危険物や危険状況を明確に判断することができることである。しかしながら, CG の映像に慣れてしまうと, 人間の認識では CG と認識

している限り現実感が得られていない、または危険を現実として感じる事ができていても危険な事故を忘れてしまう等の欠点がある。現在では、コンピュータやスマートフォンの普及が盛んであるため、多くの人々が CG 映像に慣れてしまい CG 映像をリアリティとして認識することが難しいと考えられる。

その一方、VR 技術の 1 つとして AR (拡張現実感; Augmented Reality) による画像処理技術がある。これ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 等を表示する技術である。現在、ポケモン GO やセカイカメラ等の AR を用いたエンターテインメント等が数多く存在し、ビジネスや広報にも普及し始めている。この 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が、危険物等の CG 映像を用いるだけでは VR と大差はない。ただし、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。

そこで、本研究では一般的に普及しつつある AR 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、その機能性を検証することを目的とする。始めに、本システムの基本的概念である PDCA を参考にした安全視認必須起動システムの概要を説明し、AR 技術の 1 つである ARToolKit を用いたセンシングシステムについて述べる。本システムは安全に作業できると判断し、人間がその作業を確認できたときのみ、機械を稼働・作業を許可する作業があたかも AR が人間に代わって許可を与えたかのような感覚を与えることを期待する。その後、旋盤作業を一例に不安全活動 (危険側故障) 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視認への有効性を調査する。旋盤作業では事前準備が多いため、その安全準備作業を正しく実行できたのかを Web カメラと AR 技術を用いて確認する。画像処理技術を用いて作業者のレバーの移動距離や角度等を出力することにより、作業者の安全認識や習性を考察することができる。

## 2. 安全視認必須起動システム

### 2.1. 安全視認作業工程

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>14)</sup>、安全視認作業を強制的に実施させる必要があると推測する。旋盤作業時の工程 FMEA 例では、ワークの平行出しの失敗、加工するバイトの誤り、チャック締め忘れ、回転速度や送り速度の失敗等が挙げられる。これらの誤りを防ぐためには、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が、設備や人員の関係上、完璧に実施を徹底させることは難しい。そこで、安全確認作業工程を PDCA (Plan, Do, Check, Action の頭文字) の考えを参考して図

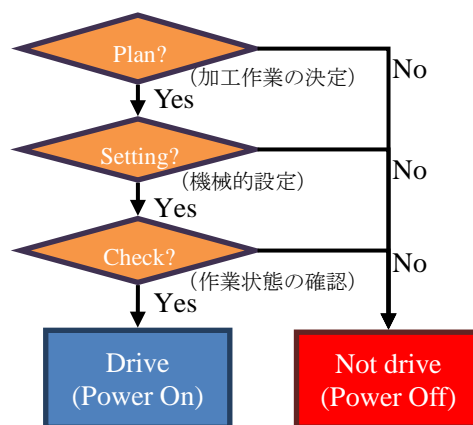


図 1 安全確認作業工程

1 に示すように設定する。工作機械作業を例にすると、図 1 の 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。この工程中に誤りがあれば、機械は動作しない。本システムでは予め作業工程をプログラムにて設定させる。図 1 の 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。図 1 の 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。本システムでは AR マーカ―を用いて、Setting と Check の状態を画像識別する。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。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、加工作業を許可させる。一部分でも Setting や Check の状態から外れてしまった場合、即座に動作停止・電源を切ることにより安全を確保することを意味する。

### 2.2. 安全確認作業を強制させるハードウェア

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のみでは、安全作業許可を与えても意味がなく、物理的に動作を停止させるためのハードウェアからの準備も必要である。この場合、インターロックシステム等が該当する。そこで、安全視認作業を強制的に実施させるためのシステムを提案する。図 2 に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を挿入する。マイクロコントローラは Arduino, Raspberry Pi, Embed 等が該当し、その側にリレースイッチを搭載する。次に、USB 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。機能動作について、USB カメラにて安全状態を撮影できたときのみ、PC にて作業許可を決定し、ディスプレイに安全であることを表示する。安全状態ではない場合、すなわち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。その後、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。

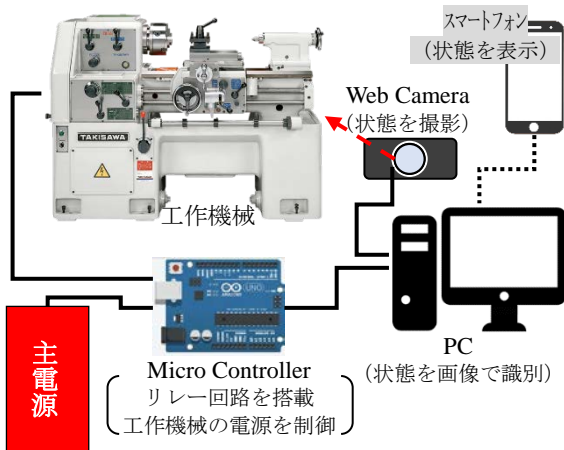
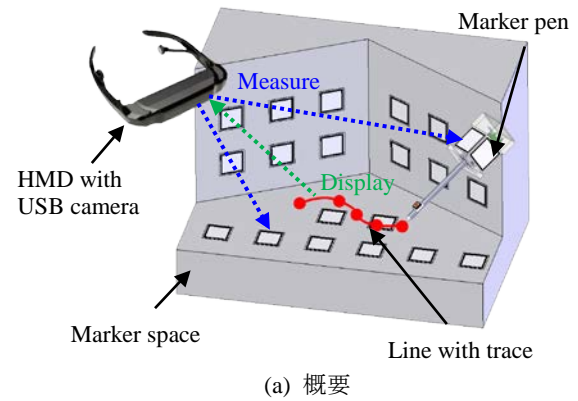


図2 安全視認必須起動システム

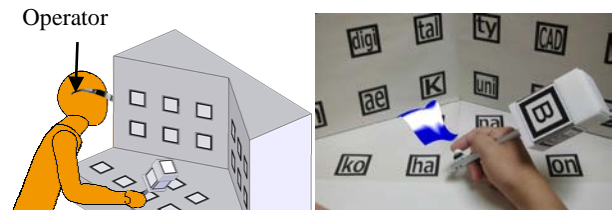
本論文では、工作機械を一例としているが、クレーン車や玉掛け等の建設機械の操縦、飛行機、自動車、フォークリフト等の乗り物の運転、ロボットや遊具の操縦等も工作機械と同様に適用可能である。

### 3. AR 技術を用いた画像処理センサの監視特性への応用の検討

市販として普及している AR 技術はエンターテインメントや広告媒体利用が多いが、画像処理センサ機能としての有効活用は少ない。しかしながら、AR を用いた画像処理は、AR マーカーさえあれば、容易に位置・姿勢を検出することが可能であり、AR マーカーは描画ルールさえ守れば誰でも容易に作ることが可能である<sup>[5]</sup>。これらの特徴は QR コードではできない特徴の 1 つである。AR マーカーの作り方は次の 3 工程である。①白い用紙を用意する、②用紙に正方形の黒枠を描画する(黒枠と中央の正方形の太さの割合はおおよそ 1 : 2 : 1 が最適である)、③中央の白い正方形内に非線対称および非点对称の図形(文字でも可)を描画する(位置や姿勢を正しく検出させるため)。本研究では Adrian らの研究を参考に<sup>[6]</sup>、AR 技術の 1 つである ARToolKit を用いた 3D Direct Drawing システムを構築した<sup>[7], [8], [9]</sup>。ARToolKit とは、AR アプリケーションの実装を支援するための C 言語および C++ 言語用プログラミングライブラリであり、マーカー検出とパターン認識、マーカーの 3 次元位置・姿勢の計測、実写画像と 3 次元 CG モデルの合成表示等の機能を有するものである。ARToolKit による 3D-Drawing システムの概略図と描画の様子を図 3 に示す。図 3 より、マーカーが配置された空間にて、操作者は HMD (Head Mount Display) と USB カメラを装着し、AR コマンド用マーカー付きのペンを持って描画する。AR 空間用マーカーと操作者が持っている AR コマンド用マーカーとの位置・姿勢の関係を USB カメラで計測する。計測した位置・姿勢とコマンド内容から、AR 空間用マーカーの位



(a) 概要



(b) 描画の様子

(c) 描画映像

図3 ARToolKit を用いた 3 次元直接描画システム

置を起点として、点、線、面などが配置され、それらは HMD によって表示される。さらに、ペンの先端に ON/OFF 機能を有するタクトスイッチを搭載し、点や線の出力を制御させた。これにより、安定的な描画が可能となった。操作者が描画をするとき、腕や頭等が揺らいでしまい、予想外の動きをしてしまうことが多い。そこで、0.5 秒の間に、ペン先位置から 0.5mm 以上、5.0mm 以下の移動距離のみ描画可能位置として採用し、想定外の数や位置での描画作成を防ぐことが可能になった。AR コマンド用マーカーの内容は、ペンの出力可否、面の作成、点の移動・消去、点・線の形状の決定等である。AR 空間用マーカーは、描画場所の底面や壁面に複数設置させ全て固定させた。

本論文では、CG による図形を描画出力させた AR 技術を利用するのではなく、安全監視者として AR 技術を利用する。すなわち、あたかも監視者に見られて作業していると作業者が感じ、不安全作業時には電源を切る(入れない)ことにより、人間監視と同等の機能を果たすことを期待する。AR 固定空間用マーカーは描画と同様に利用し、工作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、ワーク、工具に対しては、AR コマンド用マーカーに該当する AR マーカーを貼り付ける。これらを AR スイッチ用マーカーとして取り扱う。固定空間用マーカーは 3 軸方向座標系の役割であり、マーカーの中心位置を原点とする。スイッチ用マーカーは現在位置を示す役割であり、座標点はマーカーの中心位置である。さらに、マーカーの向き(傾き、姿勢)も計測することができるため、2 つのマーカー間の角度(姿勢)を計測することもできる。以上の機能を利用して、ボタンスイッチは位置、回転盤やハンドルは姿勢、レバ



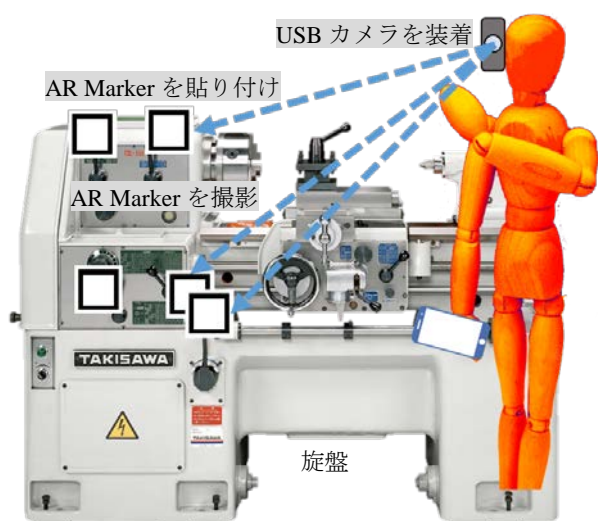
スイッチは位置または姿勢を計測することにより、機械の状態を識別することができる。

#### 4. ARToolKit を用いた安全視認必須起動システムの検証

##### 4.1. AR マーカーの設置

全ての危険な装置・作業に対して、自動的に安全停止が発生するシステムを提案することが重要である。そこで、VR と CG を用いて危険状態や事故をシミュレーションするシステムは多く存在する<sup>[3]</sup>。全ての状況を CG で表現し、作業者本人はその CG で作られた VR 空間内にて危険状況を学習する。しかし、人間の認識では CG と認識している限り現実感が得られていない、または危険を現実として感じる事ができても、異なる危険状態には対応できない等の問題点がある。すなわち、全ての危険認識を VR のみで解決することは限界である。

そこで、本論文では機械装置の安全作業状態を作業者とプログラムの双方で認識させるシステムを提案する。



(a) 旋盤に AR マーカーを搭載したときの様子



(b) 不安全状態 (加工作業不可能)



(c) 安全確認状態 (加工作業可能)

図 4 ARToolKit を搭載した安全確認システム

図 4 に示すように、旋盤の作業箇所 AR マーカーを貼り付ける。安全状態表示はスマートフォンまたは PC にて表示する。AR マーカーの搭載場所は表 1 に示すように、固定用マーカーを装置固定部分、スイッチ用マーカーを操作部分に貼り付ける。固定用マーカーを制御盤に 2 箇所、刃物台、各レバー付近に 1 か所貼り付け、スイッチ用マーカーを制御盤に 1 箇所、各レバーに 1 箇所、バイト (刃物) には 1 種類につき 1 箇所を貼り付ける。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。USB カメラは AR マーカーを認識し、ARToolKit のプログラムにより<sup>[5]</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。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。プログラムは Visual Studio と C++ を使用し、OpenGL, OpenCV, および ARToolKit のライブラリーを使用する。図 5 に安全視認作業時のディスプレイの一例を示す (ただし、本論文では PC のディスプレイで示す)。図 5 より、OpenGL を用いた工作物の図形や AR マーカーの原点表示を示すことができる。本論文では、原点座標を円錐で表示させている。安全状態表示は 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。本論文では、回転盤を “Rotation”, レバーを “Lever”, バイト (刃物) を “Tool” と表示させ、回転盤は角度、レバーは HIGH または LOW モード、Tool は刃物の適切な位置からの距離を表している。プロ

表 1 AR マーカー貼り付け場所

	貼り付け場所	個数
固定用 AR マーカー	制御盤	2
	刃物台	1
	稼働レバー付近	1
スイッチ用 AR マーカー	制御盤レバー	1
	制御盤回転数ハンドル	1
	バイト (刃物)	刃物 1 本につき 1
	稼働レバー	1



図 5 安全状態のディスプレイ表示

グラムでは、機械状態の全てが安全かつ作業者が安全視認である“安全 (Safe)”を表示できたときのみ作業開始（電源が入力）できると仮定する。機械状態は事前に計画された作業をプログラム内に入力し、各工程において、その機械状態と確認作業を達成させなければならない。

#### 4.2. スイッチ状態視認実験

固定用 AR マーカーは、各座標軸を決定させる機能を有し、スイッチ用 AR マーカーはレバー、バイト等の位置や角度を示す機能を有する。作業者の USB カメラは固定用マーカーとスイッチ用マーカーを同時に認識したときに、作業状態を検出することができる。そこで、被験者の作業を正しく計測できるのかを検証する必要がある。

始めに、AR マーカーがスイッチの状態を検出できるのかを調査する必要がある。図 6 の模式図に示すように、回転盤と上下レバーに AR マーカーを貼り付け、手作業による移動軌跡を測定した。測定結果を図 7 に示す。図 7 より、回転盤、上下レバー共に、作業者が動かした位置どおりに移動していることを確認した。図 7(a)は旋盤に向かって上方を z 軸、横方向を x 軸とし、AR マーカーが回転盤の最下部にあるとき、z 軸の最小位置、右端部にあるとき、x 軸の最大位置としている。図 7(b)は AR マーカーが右端部にあるときを 0 度と設定している。

次に、被験者が計画通りの機械作業と安全確認作業を実行できるのかを調査する。図 8 に示すように、回転盤、

左右レバー、上下レバー、バイト（刃物）3 種類にスイッチ用 AR マーカーを貼り付け、手作業による移動軌跡を測定した。バイト用および回転盤用の AR マーカーのサイズは 25mm×25mm、その他の 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、USB 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。その一方、バイト用の AR マーカーが小さい理由は、バイトの横幅が 15mm、長さが 80mm であるため、AR マーカーのサイズをバイト形状に適した形状としたためである。安全視認作業手順も予め決定する必要がある。表 2 に安全視認作業実験内容の一例を示す。被験者は表 2 に示すような機械準備作業と安全視認作業ができるのか、およびスイッチ動作の軌跡を計測する。被験者は、荒加工、面取り、溝加工の 3 パターンを想定し、それぞれの加工に適した回転数とバイト（刃物）を選択する。被験者は 20～40 歳の男性 3 名である。作業手順では、被験者は表 2 に計画された作業条件を理解し、レバースイッチと回転盤により指定された回転数を設定し、USB カメラを用いて AR マーカーを撮影することにより、その状態の視認を確認する。その後、刃物台の所定の位置に指定されたバイトを設置し、その状態を視認できた瞬間を終了とする。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

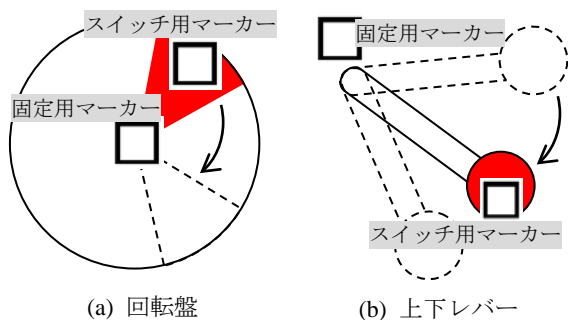


図 6 AR マーカーを取り付けた機械の移動

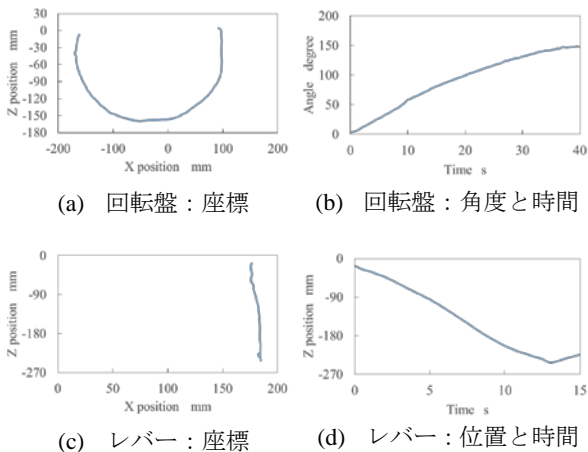
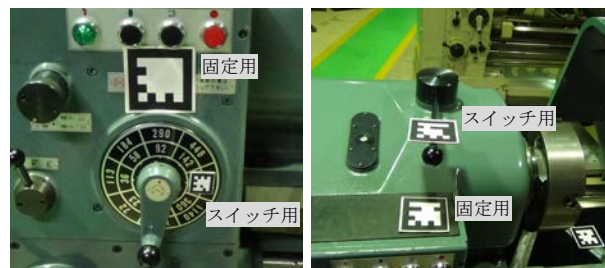
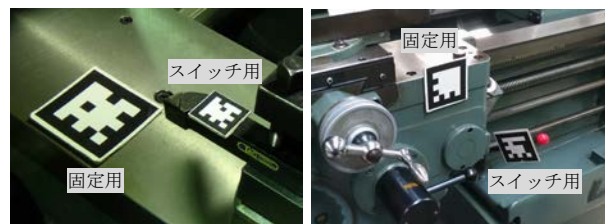


図 7 スイッチの移動軌跡



(a) 回転盤 (b) 左右レバー



(c) 刃物台 (d) 上下レバー

図 8 AR マーカーを取り付けた旋盤

表 2 安全視認作業実験の加工条件

手順	作業内容	回転数	レバー
1	荒加工	700	HIGH
2	面取り加工	58	LOW
3	溝加工	448	HIGH

を誤差範囲とする。この誤差範囲であれば、誤った動作を“安全 (Safe)”と認識することがない。

被験者に搭載した USB カメラから観た安全視認作業の様子を図9に示す。図9より、被験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、手順通りの作業を実行することにより、スイッチ状態を“安全 (Safe)”にすることができた。ただし、USB カメラ表示のみで被験者が作業をすると、画像の揺れにより気分を悪くする可能性が高いため、被験者には“Safe”と“Danger”の表示のみで十分であると考えている。さらに、手や腕によってマーカーが隠れてしまうオクルージョン問題も発生している。この問題は画像の視野範囲の調整が必要である。図9の実験時の各スイッチの測定結果を図10に示す。図10(a)は目標設定角度との差分を表しているため、0度を設定角度到達となる。図10(a)より、回転盤は被験者がハンドルを回した角度に追従して設定角度に近付いているときを計測できた。図10(b)の左右レバーはHIGHとLOWの2モードを設定している。LOWからHIGHへの切り替えの瞬間は計測できないときもあるが、LOWとHIGHの認識は正しく計測されていることがわかった。図10(a)、(c)より、刃物の位置や角度も正しく計測できていることがわかった。作業時間は40秒であり、これは他の被験者でも同様の結果であった。

### 4.3. 考察と今後の課題

本論文のスイッチ安全視認実験より、AR 技術による安全視認作業が可能であることを示すことができた。しかしながら、多くの課題が存在することもわかった。そこで、本節では以下の3つの課題について考察を述べる。

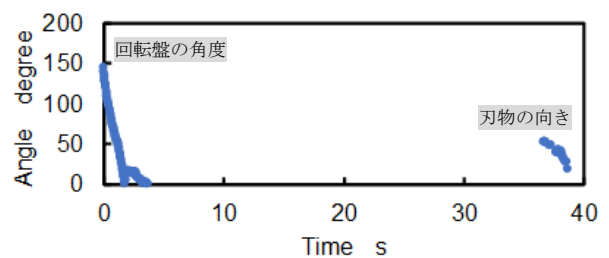
始めに、本実験ではオフラインでの本システムによる安全視認は達成できたが、オンライン時ではシステムによる安全視認による安全状態の判断は不明である。オフラインは工作機械の設定に該当し、オンラインは工作機械稼働時に該当する。特に、オンライン時の安全視認は最も重要であり、本システムが危険状態や不安全状態を察知できなければ事故が発生する可能性がある。今後の課題では、工作機械の稼働時（本論文では旋盤のチャック回転と刃物台自動送り時が該当する）に、作業者が安全視認を怠った瞬間に工作機械を即時に停止させることが重要である。作業者は常に刃物台の移動を視認し、作業者の視界から逸れた場合は、刃物台を停止させる必要がある。その一方、チャックの回転時に作業者の身体や衣服が巻き込まれないようにするために、作業者はチャックから離れる必要がある。そのため、刃物台を視認しながらも、マーカーとの距離も一定以上保つために、カメラ座標系も考慮に入れる必要がある。

次に、USB カメラを作業者に搭載した場合、搭載による煩わしさ、作業者目線の映像が大きく揺れてしまう等の課題がある。人間は頭部が揺れていても、脳内にて視界の映像を自動的に補正することができる。しかしながら、カメラ映像では手振れ補正があっても、振れの補正

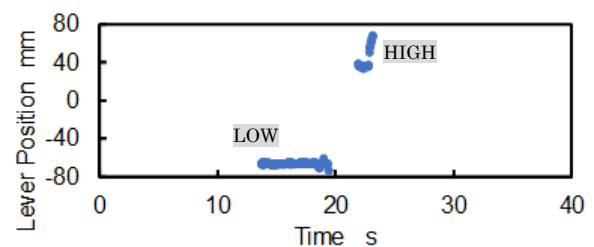
には限界がある。そこで、外部から映像を搭載するべきとの案もあるが、身体によるオクルージョン問題が発生



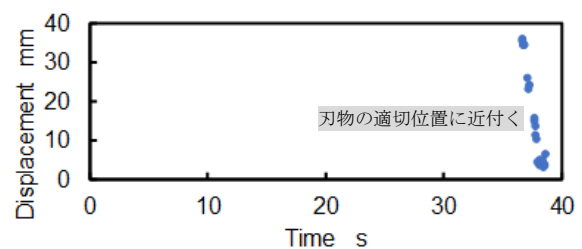
図9 旋盤準備視認作業の様子



(a) 目標回転角との差



(b) レバーの位置



(c) 刃物の目標位置との差

図10 旋盤準備作業時の移動軌跡



してしまうことや、視認の実行を怠ってしまう危険がある。今後の課題として、被験者搭載映像と外部映像との組み合わせによる視認作業の可能性を調べる必要がある。

最後に、VR/AR 技術が監視や指導の機能を有することができるのかを調べる必要がある。従来までの VR/AR 技術は、エンターテインメントや広告媒体としての利用が多いが、監視や指導のツール（監視者/指導者）になれるのかが疑問である。VR の場合、全てが VR (CG) で作られた世界であれば、監視者も指導者も VR であっても違和感はない（ただし、人間が VR 製の監視者の指導に従うのかは疑問ではあるが）、しかしながら、現実世界に可視可能な AR 製の監視者が出現した場合、この監視者の指示に従うのかが不明である。今後の課題として、AR 技術の有効性を調べるために生身の人間による監視と AR による監視の比較が必要であると考えている。

## 5. まとめ

本論文では、AR 技術を用いた安全視認必須起動システムを提案し、機械作業状態の安全視認実験による AR 技術の有効性を調査した。以下に、本論文のまとめを述べる。

始めに、ソフトウェア面として、PDCA の考えを参考にした安全確認作業工程を設定した。Plan, Setting, Check の各工程を用意し、何れかの工程に手順に 1 つでも誤りがあれば機械は動作せず、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、電源が入力され加工作業を許可させるものである。ハードウェア面として、安全視認作業を強制的に実施させるためのシステムを提案した。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。作業者は USB カメラを搭載し、ディスプレイを接続した PC またはスマートフォンにより作業状態を確認することができる。

次に、AR 技術の概要を説明し、AR 技術の可能性について検討した。過去の研究にて ARToolKit のライブラリーを用いた事例を説明し、本安全視認必須起動システムへの適応方法を述べた。特に、固定用 AR マーカーとスイッチ用 AR マーカーとの使い方により、スイッチの位置・姿勢等の状態を計測することが可能であることを述べている。その後、AR マーカーを旋盤に搭載し、スイッチの位置・姿勢を計測した結果、正しく計測できたことを確認した。

最後に、AR 技術による安全視認の可能性を確かめるために、各加工条件における被験者の旋盤準備作業時の安全視認作業を調査した。その結果、手順通りの作業を実行することにより、スイッチ状態を“安全 (Safe)”にすることができた。さらに、各スイッチの状態も正しく認識することができた。今後は、フェールセーフ作用を確立させるためにオンライン(工作機械の稼働)時に、安全視認作業を怠った瞬間、工作機械を即時に停止させること、カメラ画像処理の有効性を調べるために被験者

搭載映像と外部映像との組み合わせによる視認作業の可能性を調べること、AR 技術の有効性を調べるために生身の人間による監視と AR による監視の比較することが課題となる。

## 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] 労働災害死亡者数：  
<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] 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)
- [5] 橋本直：「ARToolKit 拡張現実感プログラミング入門」, アスキー・メディアワークス(2008)
- [6] Adrian David Cheok, Neo Weng Chuen Edmund, and Ang Wee Eng: “Inexpensive Non-Sensor Based Augmented Reality Modeling of Curves and Surfaces in Physical Space” Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR’02), ISMAR (2002)
- [7] 三橋郁, 青野健太, 谷口翔理, 大山泰弘：「3 次元 Direct Drawing による描画手法の機能性評価 (ARToolKit を用いた平面・曲面の描画実験)」, 第 14 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 SI2013 (2013)
- [8] Kaoru Mitsuhashi, “Functional Evaluation of the Curved Surface Creating by 3D Direct Drawing”, The 2nd IFTOMM (International Federation for the Promotion of Mechanism and Machine Science), Asian Conference on Mechanism and Machine Science, November7-9, Tokyo, Japan (2012)
- [9] Kaoru Mitsuhashi, Yasuhiro Ohyama and Hiroshi Hashimoto, “Functional Evaluation of the Solid Model Creation using 3D Direct Drawing System”, 13th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO 2016), July29-31, Lisbon, Portugal, 2016, pp.513-521

(原稿受付 2018/01/09, 受理 2018/04/11)

\*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

Kaoru Mitsuhashi, Faculty of Human Resources Development, Polytechnic University of Japan, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi, Kodaira, Tokyo 187-0035.

Email:k-mitsuhashi@uitec.ac.jp