

建設機械における安全知能化に関する研究（その1）

中村 聡* 柳原 好孝* 高橋 浩史**

要約： 労働災害の減少は建設業における課題の1つである。建設工事における労働災害は、作業者の不注意だけでなく建設工事の多様化、複雑化、特殊化なども要因となっている。労働災害は作業者の不安全行動に起因するものが多く、不安全行動の減少は労働災害の減少に繋がるとされている。不安全行動を誘発する要因としては「思い込み」や「慌て、急ぎ」などがあり¹⁾、このような要因を建設工事現場から取り除くためには人間の行動に基づいた安全に対する装置やシステムが必要となる。

本研究は機械の動作と人間の行動を把握し、より安全で知能的な安全知能化システムの研究と、複数の作業を行っている機械の動作を監視することで複合的な安全システムを構築し、安全で効率の良い作業環境を目指すものである。本論文では作業者に周囲の状況を認知させる効果的な手段を検討した基礎実験と、建設工事現場へ安全システムの試験的導入を行った事例について記す。

キーワード： 安全知能、不安全行動、ヒューマンエラー、作業効率、時間的圧迫

- 目次：**
- | | |
|----------------|---------------------------|
| 1. はじめに | 3. 視覚・音声を組み合わせた安全システム試験導入 |
| 2. 作業時における認知実験 | 4. まとめ |

1. はじめに

建設業における労働災害は墜落が最も多く、次いで建設機械等に起因するものが多い²⁾。このような労働災害は作業者の不安全行動やヒューマンエラーが引き起こすパターンが多いとされている。不安全行動やヒューマンエラーを誘発する要因として「思い込み」や「慌て、急ぎ」などがあり、これらの要因を抑制する事で労働災害を減少する事ができる。これまで開発されてきた安全装置は、機械などの危険な状態を操作者に報知し、動作を停止するといった機械単体への安全装置が多く見られたが、近年は人間の行動側面が重視されるようになり、「外界のリスクに事前対策を能動的に適応する」機能が強調される安全装置へと変化しつつある。

人間は何かの行動をする際、特定の対象を認知し、判断し、行動している。「思い込み」や「慌て、急ぎ」などは誤った認知や判断が原因となり、不安全行動やヒューマンエラーへとつながる事が多い。

認知する段階で特に重要なのは視覚情報と聴覚情報であり、なかでも視覚情報は重要度が高い。しかし、建設作業時における視覚情報は作業を行っている手元やその周辺の情報が大部分を占め、周囲の危険に対しての視覚情報を入手する事は難しい。また、視覚で認知すると作業に対する注意力が削がれ、他の危険性が高まるだけでなく作業効率が低下するなどの問題点がある。このような理由から警報などの聴覚情報によって機械の動作

状況や危険な状況を知らせる装置が多く使用されている。

しかし、ブザーや警報などの聴覚情報は視覚情報に比べ、認知できる情報量が少なく、聴覚情報を得てから、どのような状況にあるのかを視覚により確認する必要がある。そのため、聴覚情報で認知してから行動するまでの時間は、視覚情報で認知して行動する時よりも長くなる傾向がある。

本稿は、聴覚情報でより多くの情報を得る事ができれば、視覚情報の認知による行動と同程度の速さで行動することが可能になると考え、視覚情報と聴覚情報による認知、判断、行動の流れに差が生じるか実験により検証し、建設作業時において安全を報知する効果的な手段を検討したものを報告する。

また、複数の機械の動きを捉え、周囲の作業状況を報知する事により「外界のリスク」を作業者に認知させ、作業者が事前対策を能動的に適応できるかを確認するため、実際の建設作業現場へ安全装置を導入した事例について報告するものである。

2. 作業時における認知実験

建設作業中に、自分に迫っている危険を認知させるためには視覚情報と聴覚情報のどちらが効果的であるかを検証する。実験では視覚情報と聴覚情報による認知の違いによって作業や行動の速さ、正確さに違いが生じるかを検証した。

2.1 視覚と聴覚による認知比較実験

実験は1から9までの整数をランダムにコンピュータから出題し、出題された数字を認知させキーボード入力する形式で行った。出題方法として視覚情報による認知の場合、ブザー音の後にコンピュータ画面に数字を表示させる。聴覚情報による認知の場合、数字を音声として出力する。実験では各条件ともボルト穴がある鋼材にボルトを締付ける作業を行いながら、出題された数字をキーボード入力により回答する事とした。これは、被験者を作業時の状況に近づけ、締付けるボルトの本数を計測する事により作業効率との関係性を検討するために行うものである(図1、写真1)。

出題数は18問に設定する。18問全てを正解するまでの経過時間を計測し、出題されてからキーボード入力を行うまでの平均反応時間を算出する。この際、正解数と不正解数をカウントし視覚情報による認知と、聴覚情報による認知における行動の正確さを検討する。被験者は建設業に従事する30歳代～60歳代まで男性5名(平均年齢42.4歳)である。

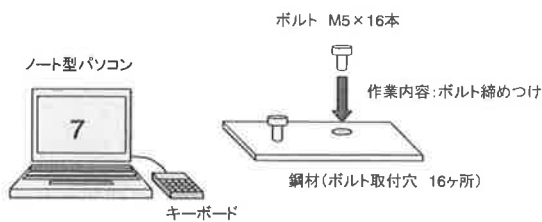


図1 認知実験概要図



写真1 認知実験装置

実験結果として、図2に視覚情報と聴覚情報で認知した場合における、ボルトの締付け作業で実施できた平均本数を比較したものを示す。また、出題されてからキーボード入力により回答するまでに要した平均時間(反応時間)を、視覚情報と聴覚情報で認知した場合で比較したものを図3に示す。

図2では、視覚情報で認知しキーボード入力する場合よりも、聴覚情報で認知しキーボード入力した場合が実施されたボルトの締付け本数が多く、作業効率が向上している事がわかる。しかし、図3の結果からは出題された数字を答えるまでの反応時間が聴覚情報で認知した場

合、視覚情報で認知するよりも1秒遅くなる事が確認された。図2、図3の結果が得られた要因として、聴覚情報により認知を行う場合、被験者は作業に行っている手元に視点が向いていて、視覚情報による認知を行う場合よりも作業に集中している状況となっている事が考えられる。そのため、聴覚情報で認知した場合、作業の進行は良くなる一方で反応に時間がかかる結果が得られたものと推測される。行動の正確さについては、被験者全員が各条件において入力ミスをせずに出題された数字に回答することができたため、視覚情報と聴覚情報の認知方法において、行動の正確さに違いは確認できなかった。

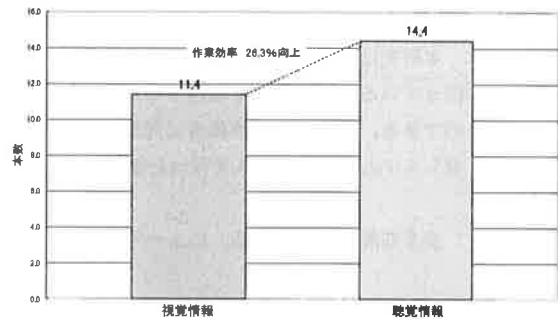


図2 ボルトの締付け平均本数(時間的圧迫なし)

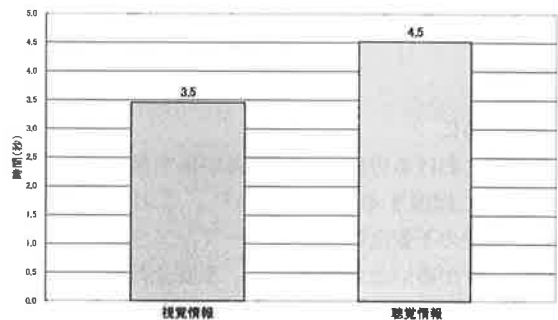


図3 出題から回答までの反応時間(時間的圧迫なし)

2.2 時間的圧迫に関する認知比較実験

次に、不安全行動やヒューマンエラーを誘発する要因の1つである「慌て、急ぎ」の原因となる「時間的圧迫」³⁾がある時と、ない時では行動の速さや正確さに違いがあるかを検証する。同時に「時間的圧迫」がある場合、聴覚情報と視覚情報の認知で作業効率や行動の速さについて違いが生じるか検証する。

実験装置は前記実験と同様のものを使用する(図1、写真1)。実験は回答するまでの制限時間(10秒)を設定し、出題は1から9までのランダムな18個の整数を10秒毎でコンピュータ画面にブザー音の後に表示(視覚情報)もしくは言葉で音声として出力(聴覚情報)する方法で行い、3分間(180秒)の正解数と不正解数を記録する。前記実験同様、実験では各条件ともボルト穴がある鋼材にボルトを締付ける作業を行いながら、出題された数字をキーボード入力により回答する事とした。被験者は建設業に従事する30歳代～60歳代

まで男性5名（平均年齢42.4歳）である。

実験結果として図4に視覚情報による認知と聴覚情報による認知に分け、「時間的圧迫」の有無による行動の正確さをグラフ化したものを示す。「時間的圧迫」がない時では出題に対して入力ミスが見られないが、「時間的圧迫」がある時では視覚情報、聴覚情報共に入力ミスが見られた。本実験における聴覚情報による認知での入力ミスは「聞き逃し」が原因であり、入力ミスの割合も視覚情報による認知よりも高くなる傾向が見られた。

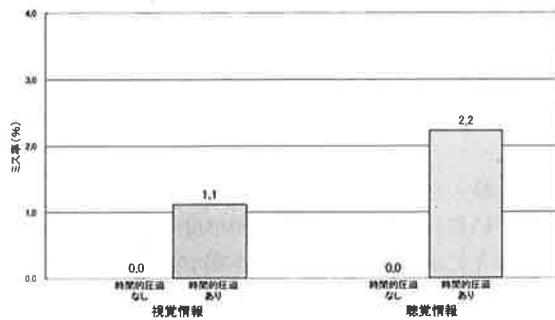


図4 時間的圧迫の有無によるミス率

次に、「時間的圧迫」の状況下においてボルトの締付け作業で実施できた平均本数を、視覚情報と聴覚情報で認知した場合に分け、比較したものを図5に示す。また、図6に「時間的圧迫」の状況下において出題されてからキーボード入力により回答するまでに要した平均時間（反応時間）を、視覚情報と聴覚情報で認知した場合に分け、比較したものを示す。

図5で示すように「時間的圧迫」の状況下において視覚情報による認知よりも、聴覚情報により認知した場合の方が実施されたボルトの締付け本数が多く、「時間的圧迫」がない時と同様に（図2）、作業効率が向上している事がわかる。

図3で示したように「時間的圧迫」がない時では聴覚情報による認知をした場合、出題された数字を答えるまでの反応時間が視覚情報による認知よりも遅くなるという結果であったのに対し、図6に示した「時間的圧迫」がある時における反応時間では、聴覚情報で認知した場合の方が視覚情報で認知した場合よりも反応時間が早くなるという結果が得られた。

2.3 作業中における認知実験のまとめ

図4、図5、図6の結果から、「時間的圧迫」があることによりミスをする確率が高まり、特に聴覚情報による認知では「聞き逃し」によるミスが発生しやすくなる事が確認された。また、「時間的圧迫」の状況下において、聴覚による認知は視覚による認知よりも作業の効率が向上し、認知してから行動までの反応時間が早い事が確認された。この結果から聴覚情報による認知は、「慌て、急ぎ」がある時に作業者に「外界のリスク」を認知させ素早く行動させる手段として有効であり、「聞き逃

し」を補う機能を付加できれば安全システムとして有効利用が可能と考えられる。しかし、図2、図3の結果から聴覚情報による認知は作業に集中する傾向が見られ作業効率は向上するものの、視覚情報により認知する場合と比較すると作業に集中する事により、リスクを認知してから行動するまでに時間を要するものと考えられる。よって、視覚と聴覚それぞれの利点を組み合わせる事で相乗効果を生み、より効果的で効率の良い安全システムを構築できると考えられる。

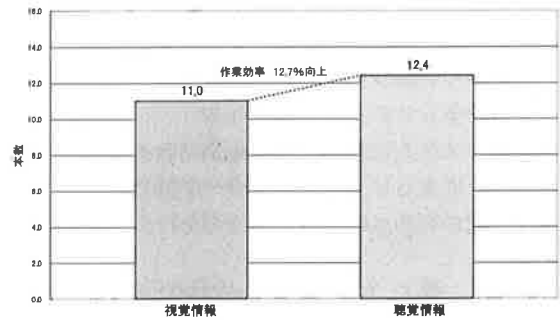


図5 ボルトの締付け平均本数（時間的圧迫あり）

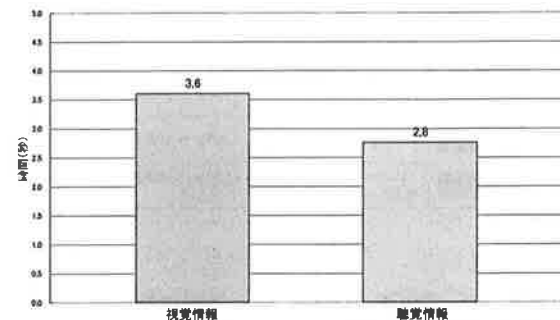


図6 出題から回答までの反応時間（時間的圧迫あり）

3. 視覚・音声を組み合わせた安全システム試験導入

当該実験の結果を踏まえ、実際の建設作業現場において視覚情報に音声アナウンスを加えた認知が有効であることを検証するため、音声により周囲作業状況をアナウンスする安全システムを製作し、シールド工事へ試験的導入を行った。

試験的導入を行った安全システムは、シールド工事に使用される地上橋型クレーンおよび坑内を走行する軌道装置にセンサを設置し、橋型クレーンの動きと軌道装置の動きを感知する。感知した各機械の動きを音声と警告灯（写真2）で報知し、周囲の作業状況をクレーン操作者と立坑下の作業者に認知させるシステム構成となっている。安全システムが感知する各機械の動きと報知内容を表1に示す。

導入した安全システムは認知実験結果を踏まえ音声アナウンスによる聴覚情報の認知と、警告灯による視覚情報の認知の両方ができる仕様にすることで、「聞き逃し」、「慌て、急ぎ」などによるヒューマンエラーに対するリスクを低減している。また、周囲の作業状況を認知する

事で「外界のリスク」に対する事前対策の実施と、作業効率の向上を目的としている。

現在、当該安全システムを使用して施工を行っているが、作業員から提案された安全システムへの要望を取り入れ、現場の作業内容に合ったシステムに改良が続いている。今後、詳細なデータと作業員へのアンケートなどを基にして報知する方法や内容、作業効率の向上について検討を行う予定である。

今回の試験導入により建設現場における安全知能化システムの課題として以下の点があげられた。

- ①建設現場では変則的な動きが発生するため、できるだけ多くの動きを感知し、可能な限りリスクを低減する安全システムが必要となる。
 - ②安全システムに頼り、自ら確認を怠るなどの作業員の慣れによるヒューマンエラーが懸念される。
- 今後は上記の問題点についても検討を行う予定である。

表1 安全システムの報知内容

警告灯色	音声による警報内容	動作内容
赤色	台車が出てきます。	バッテリーロコが坑口100m位置を通過（出坑時のみ）。
黄色	立坑下まで5mです。	クレーンフックが立坑下から5m位置にあります。
緑色	上昇します。	クレーンを巻き上げ中。
赤色	下降します。	クレーンを巻き下げ中。
黄色	クレーンが立坑上から移動しました。	クレーンが立坑上から移動しました。

参考文献

- 1) 中村隆宏, 深谷潔, 奥水ヒカル: 建設労働災害の発生原因としてのヒューマンエラー防止に関する研究—建設作業現場における不安全行動の発現とその対策に関する研究—, 平成14年度産業安全研究所年報, pp22, 2003.5
- 2) 建設業労働災害防止協会: 平成16年建設業における死亡災害の工事の種類・災害の種類別発生状況
- 3) 中村隆宏, 深谷潔, 奥水ヒカル: 建設労働災害の発生原因としてのヒューマンエラー防止に関する研究—建設作業における視覚情報処理過程とヒューマンエラーに関する研究—, 平成13年度産業安全研究所年報, pp23, 2002.5

RESEARCH ON THE SAFETY INTELLIGENCE FOR THE CONSTRUCTION MACHINE (PART1)

S.Nakamura, Y.Yanagihara, H.Takahashi

The reduction in an accident is one of the subjects in the construction site. The factor of an accident is not only a worker's un-safety behaviors but diversification, complication, specialization, in the construction site. An accident has many things resulting from a worker's un-safety behaviors, and the reduction of a worker's un-safety behaviors is leads to reduction an accident. The factor of a worker's un-safety behaviors is a "Belief and Panic, etc". A construction site requires the system based on human's behavior and safety in order to remove this factor.

An elementary experiment of the method which makes a worker recognize surrounding conditions and an introduction test case of the Safety Intelligent System to a construction site are shown in this research. This paper described that basical examine for the effective way to acknowledge the circumstance to the worker, and also safety system test to the construction site.

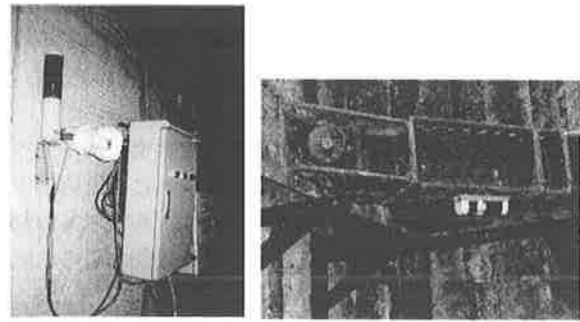


写真2 安全システムのスピーカおよび警告灯 (左:地上部, 右:立坑下)

4. まとめ

作業時において情報を認知する場合、視覚による情報認知と聴覚による情報認知では作業の効率に差が生じ、視覚よりも聴覚による情報認知が作業効率の良い事を確認した。また、「時間的圧迫」がある場合、聴覚による情報認知は視覚に比べ反応時間が早い事を確認した。

しかし、聴覚による情報認知では作業に集中する傾向が見られ、「聞き逃し」などによるミスが増加する事を確認できた。今後、建設作業現場に試験導入した結果を踏まえ、より安全で効率的な作業環境の構築を目指す。