

ないが、調査書の記述内容は多岐に渡り、心理的事象の把握が困難な事例も少なくない。対象とした4事例は、いずれも調査書の記述内容から、ヒューマンエラー要因と災害原因との関係を把握することが可能な記述が比較的豊富に含まれていたものである。

I-3. 災害発生状況の概要

災害調査記録に記述された発生状況概要を示す。災害資料の記載内容を可能な限り忠実に再現するが、個人的な情報に該当する部分については一部修正を加えている。

I-3-1. 事例1

鉄道跨線橋架け替え工事において、レールレベルの測量作業中、列車接近の警報が鳴ったため作業員らは線路外に待機した。下り列車通過後、測量作業を指導していたAが上り列車の接近に気付かないまま線路内を横断しようとして線路内に立ち入り、上り列車にはねられ即死した。事故発生時は工事場所付近を下り列車の通過直後に上り列車が通過していた。Aは下り列車通過直後に上り線の線路に立ち入っており、列車接近に気付いていなかったものと推定される。

この事例では、警報機や監視員のホイッスルによる注意喚起があったにも関わらず、なぜAは列車接近に気付かずに線路内に立ち入ったか、その理由を把握することが重要となる。

I-3-2. 事例2

ある工事現場において、基礎工事のための杭打機及び部材等の搬入が行われた。現場代理人であるEは、杭打機オペレータが杭打機を使用して10トントラックの荷台から部材等を荷下ろしている時にトラックの荷台右後方に入り、旋回してきた杭打機のカウンターウェイトに挟まれ

て死亡した。

この事例では、杭打機が作業状態であったにも関わらず、なぜEはトラック荷台と杭打機との狭い空間に入ったのか、その理由を把握することが重要となる。

I-3-3. 事例3

マンション建設工事現場において、29階のベランダで手すりから頭を出していたLに、下降してきたエレベーターの搬器が接触し、搬器と本設の手すりの間にLの頭部が挟まれた。エレベーターの昇降路の囲いは養生ネットで設けられていたが、Lが身を乗り出したところ囲いが変形し頭部が昇降路にはみ出たため、Lの頭部にエレベーターの搬器が接触した。

昇降路内の空間であれば、上下に移動する搬器に接触することは容易に予測出来たはずである。また、エレベーターの昇降路は養生ネットで囲いが設けられていたにも関わらず、なぜLは囲いが変形するほど昇降路に身を乗り出していたのか、その理由を把握することが重要となる。

I-3-4. 事例4

鉄筋造5階建新築現場の屋上防水工事終了後に残材(防水シート芯)をコーナリフトに載せて降ろす際、芯をリフト搬器のフレーム及び枠組み足場の交差筋かいにナイロン製ロープで縛り付けたためコーナリフトを降下させようとしたが降下せず、ロープを外そうと搬器の中に作業員QとRが乗りロープを切断したところ、搬器が突然落下した。そのはずみでQが搬器の中で頭部を手すりに打ちつけ死亡した。

上下に移動する搬器のフレームと固定された枠組み足場の交差筋かいを結んでしま

えば、搬器の移動が制限されることは当然であるが、なぜ残材を縛り付ける際にこのような縛り方を行ったのか、また、ロープを切断したときになぜ搬器が突然落下したのか、その理由を把握することが重要となる。

I-4. 災害発生状況の詳細と災害発生原因

次に、各々の事例に関して、災害資料の記述から把握可能な災害発生状況の詳細について示す。同じく、災害資料に記された災害発生原因について示す。ただし、災害発生原因に関しては、可能な限り災害資料の記述に基づいてはいるものの、発生状況の詳細との関連が低いものについては割愛した。

I-4-1. 事例1

先に通過する下り列車の接近を知らせる警報器が作動したので、列車監視員 D は作業員らに対し、作業中断の合図（ホイッスル）を送った。この時点で A は列車接触限界のはるか外側にいたが、下り列車が接近するまでの間に上り線の線路脇を歩いて被災位置付近まで移動していた。この間に、上り列車の接近を知らせる警報器が作動し始めた。

下り列車が通過した直後、A は線路を横断するような動作で線路内に入り込んだ。列車監視員 D はすぐにホイッスルを吹いて退避を促したが、直後に上り列車に接触し跳ね飛ばされた（図1）。

列車接近警報機は上り、下りとも2箇所ずつ設置されており、事故当時警報は正常に作動していた。工事区域内にある警報機の検知器および警報を止めるための再検知器の位置関係と、列車の通過時刻及び速度の関係か

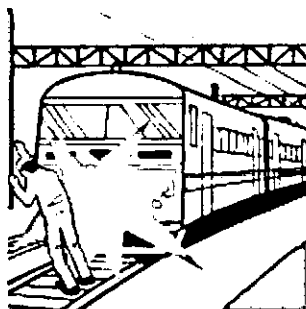


図1 事例1 災害発生状況（推定）

ら、災害発生時の警報機の作動状況については推測可能である。これらの関係から、下り列車の警報機が鳴り止むのとほぼ同時に上り列車の警報機が作動し始めたが、下り列車の通過にはおよそ10秒程度を要することから、下り列車通過後約15秒で上り列車が現場に差し掛かったと考えられる。

また、列車監視員 D は所定の教育を修了している者であった。監視場所・合図の方法等も問題は認められなかった。

線路横断時には、指差呼称により左右の安全確認を行うことになっているが、A が線路に進入するときに指差呼称を行ったかどうかは不明である。

レールレベルの測量作業については、作業打合せでは触れられておらず、記録も残されていないかった。

【災害発生原因】

- ・ 軌道内立ち入り又は横断の際の左右指差呼称による安全確認を徹底されていなかったこと。
- ・ 作業打合せ等でレールレベル作業の安全確保について検討されていなかったこと。

I-4-2. 事例2

災害発生時、荷台から荷を降ろし終えたトラック運転手 K は、あおりを上げて荷台前方の留金を止めている最中だった。E は作業を手伝うため、自ら進んで荷台後方で右側のあおりの留金を留めていた。杭打機のオペレータ G はトラックの荷台から吊り上げた荷を所定の位置に降ろすため、杭打機をバックさせながらジブを右に旋回させた。その時、旋回した杭打機のカウンターウェイトとトラック荷台右側後方との間に E は挟まれた。

【災害発生原因】

- ・ 杭打機が荷を吊って後退しながら右旋回しているにも関わらず、E が旋回範囲内に進入してきたこと。
- ・ 杭打機のオペレータ G が左後方の確認を怠ったこと。
- ・ 作業中の杭打機の周辺に接触防止措置が施されておらず、誘導者も配置されていないかったこと。

異なる警報音とする，あるいは，連続して注意喚起が必要な場合には通常の警告方法と区別する，といった対策を検討する必要があるだろう。

I-5-2. 事例2

杭打機が荷降ろし作業を行うため稼働状態であったにも関わらず，Eが近接した場所に立ち入った理由は，災害資料の記述にもあるとおり，「作業を手伝うため自ら進んであおりの留金を留めていた」ことによる。自発的に，作業を効率よく進めようとしたいわゆる「善意」の行動が，災害原因を作ってしまった事例である。

建設機械の稼働範囲内に立ち入ることがいかに危険であるかについては容易に想像出来ると考えられるが，カウンターウェイトと構造物などに挟まれる災害は建設機械に起因する災害の中でも典型的なパターンの一つである。ドラグ・ショベルや杭打機などの建設機械は，作業装置にかかる荷重と機体とのバランスを保つため，上部旋回体後方にカウンターウェイトと呼ばれる「重り」を装備することが多い。上部旋回体の形状，特にカウンターウェイトの形状によっては，旋回操作に伴う旋回体外端部の移動軌跡が大きく変化する。図5のような状態の場合，周辺作業員から見れば，建設機械と構造物との間の空間は人が通るには十分な余裕があると思われる。しかし，図6のように上部旋回体が旋回すると，人を挟み込み受傷させるのに十分なほど，狭隘な空間となる。

図5の状態では危険を認知せず建設機械の稼働半径に立ち入り，上部旋回体の旋回に伴って挟まれ災害につながっていると思われる事例は少なくない。図5の状態では危険を認知しない，または出来ない理由として，第一に，建設機械の特性に無知であることが上げられる。しかし，事例2の被災者Eに関しては十分な現場経験を有していたことから，こうした危険性について全く認識がなかったとは考えにくい。もう一つの可能性は，他に興味や関心を引く事象があった場合に注意がその対象に惹きつけられ（注意の転導），

図6の状態となることを予測せず図5の状態のみでの危険性を判断し，あおりの留金を留める行動にでってしまった，という，いわゆる「場面行動」である。

また，建設機械オペレータが周囲の安全確認を行うことは必要であるが，特殊な状況を除けば，操作中のオペレータの注意は作業装置に向けられがちである。一つ一つの操作毎に周辺の安全確認をくまなく行うことは，実態として極めて稀であると考えた方が妥当であろう。さらに，建設機械が大型になるほど物理的な死角範囲も大きくなり，特に機械本体の直近位置では目視による確認そのものが不可能な場合もある。こうしたことから，建設機械周辺への接触防止措置，作業半径内の立ち入り禁止措置のほか，誘導者の配置および指示といった方法で安全を確認することが重要となる。

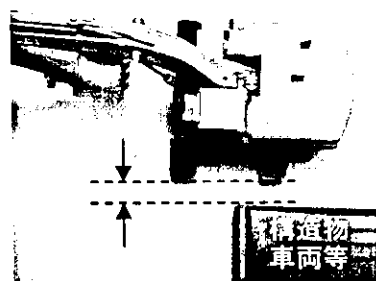


図5 旋回前の状態

上部旋回体と構造物，車両との間の空間は，人が通れる程度の余裕があると思われる

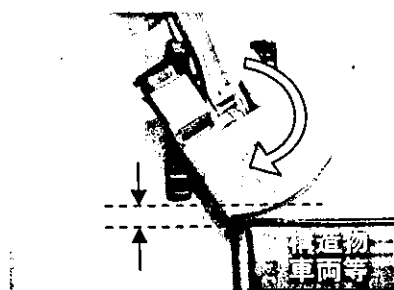


図6 旋回後の状態

上部旋回体と構造物，車両との間の空間はほとんどない

I-5-3. 事例3

現認者がいないため、災害発生状況については推測の域を出ない。しかし、現場状況から、災害の発生過程についてはほぼ災害資料に記述されたとおりと考えられる。

携帯電話の普及は労働現場の安全化に貢献している、とする意見もある。携帯電話が普及する以前は直接対面する以外に情報伝達手段がなく、連絡を取るために現場内を移動している最中の転倒、高所から墜落・転落といった災害が発生しやすかった。携帯電話が普及した現在では、簡単な打合せ程度の連絡であれば携帯電話で十分事足りるため、移動中の災害発生の危険性を排除できる、とする考え方である。

しかしながら、携帯電話が関係する事例3のような災害パターンに関しては、労働災害防止の観点から今後何らかの対策が必要となるだろう。

携帯電話がもたらす危険性については、これまでも自動車運転時の交通事故防止対策の一部に取り上げられてきた。電話機を片手で保持する必要があることから操作に支障をきたすほか、電話での会話内容に注意資源が割かれることにより、本来の運転に悪影響を及ぼすと考えられるからである。

携帯電話は、いつでも必要なときに電話連絡を取ることを可能にする。電波の受信状況が悪くなかなかつながらない、あるいは通話の途中で切れてしまう、といった経験は、携帯電話の利用者であれば少なからず経験があるだろうが、「いつでも必要なときに電話連絡を取ることが出来ない携帯電話」は大きなストレスを感じさせる。さらに、事例3のような作業中の連絡であれば、単なる世間話と異なり、当事者にとって相応の重要性と緊急性を有している可能性が高く、電話がつながりにくいために「急ぎ・焦り」が生じていたとも考えられる。電波状況が悪かった29階で、ベランダの手すりから身を乗り出すようにして電話をかけようとしていたCが、エレベーター昇降路に身を乗り出しながら降下する頭上の搬器に気付かなかったほど、Cの注意は携帯電話に対して集中していたこ

とが伺える。

携帯電話が関係する災害の中には、構内通路を横断中に携帯電話で通話するため立ち止まり、後退してきた車両に轢かれた、といった事例もある。通常であれば災害発生を未然に防止できていたはずの状況であっても、携帯電話利用の悪影響によって災害につながるケースが今後ますます表面化してくる可能性は否定できない。

I-5-4. 事例4

この事例は、災害の発生に密接に関わった人物が存命で、災害発生状況について詳細で正確な情報を獲得できた稀な事例である。

作業員Rが、残材をリフトの搬器フレームに縛りつけたつもりで枠組み足場の交差筋交いも一緒に縛ってしまった理由は、両者の色が同じであり、外見上の区別がつかなかったことによる。外見上の区別を明確にするため、異なる色によって区別する方法は一定の効果が期待できる。化学設備等のバルブ等の識別や鋼管強度の識別、有機溶剤の区分の表示等では、安全確保のための識別措置として、色の区別以外にも文字との組み合わせや形状の工夫、模様や縁取りを加えるなどして、誰もが識別しやすい表示方法の配慮が必要とされている。

事例4の場合、死亡者が出るほどの災害につながった直接の理由は、安全装置を取り外して設置したリフトでトラブルが生じた際に、搬器の状態を確認することなくナイロンロープを切断したことである。一旦降下させようと操作した搬器が降下しないというトラブルの原因は単純であったが、そのトラブルの回避段階で幾つかの要因が重なった結果、深刻な結果を招いたといえるだろう。

一点目は、リフトが降下しない原因に気付いた作業員Rが、1階で操作する作業員Sにリフト上昇の合図をすることなく、降下指示を出したままロープを外そうとしたことである。ロープには搬器と残材の負荷がかかっており、その状況でロープを解くことは不可能である。一旦搬器を上昇させ、ロープの負荷をなくした状態でロープを解く、という対

応が適切であった。

搬器フレームと交差筋交いを縛ってしまうというエラーは、単純であると同時に少々馬鹿げた内容でもある。羞恥心や虚栄心から、自分が犯した下らないエラーを周囲に悟られないようにするため、作業員Rは作業員Sに指示することなくトラブルの解消を図ったとも推測できる。航空機の操縦やプラント操業などのように、複数のメンバーによって構成されるチームでの作業において、羞恥心や虚栄心から自分のエラーを隠蔽したために、あるいは自分のエラーを認めようとしなかったために、チーム内のコミュニケーションに齟齬をきたし結果として災害につながるケースもある。

二点目は、ロープを解こうとしている最中に作業員Sがリフトを操作したため、作業員Rの右手がロープに挟まれてしまったことである。指示がないままに行われた作業員Sのリフト操作も問題であるが、これは前述のとおり、作業員Rのコミュニケーション不足に起因している。むしろ、手を挟まれた痛みから早く解放されたいというごく自然な欲求から生じる時間的圧迫状況が、搬器の状態を確認し適切な対応方法を検討するための情報探索と処理能力を低下させ、カッターでロープを切断するという判断につながったと考えられる。

このように、事例4は搬器フレームと交差筋交いを縛ってしまうという単純なエラーに端を発し、さらに2つの判断ミスが重なった結果、死亡災害という重大な結果につながったものである。

I-6. 研究1 まとめ

「人的ミス」と見なされるものはその責任を個人に帰結してしまいがちであり、ミスが生じた背景ならびに他の諸要因との関係について詳細な検討が行われることは稀である。また、現在の災害調査においては法的な違反内容の把握を重視せざるを得ないため、本稿で目的とするような、災害原因としてのヒューマンエラー要因について明らかにするという観点からの調査は、残念ながら行わ

れていない。これは、個人的責任の追及と密接に関係する場合もあるため、ある程度止むを得ない部分でもある。

災害資料に基づく事例分析には方法論として様々な制約はあるが、本稿では4つの事例を抽出し詳細に検討することで、災害の発生に関連する心理的要因、特にヒューマンエラー要因の把握を試みた。心理的な要因と災害発生の因果関係については推測に頼らざるを得ない部分もあるが、個々の要因が単独で災害の発生につながるほど重要であるよりもむしろ、その一つ一つは誰にでも起こりうる現象である。しかし、こうした複数の些細な要因が複雑に絡み合い、様々な条件が積み重なった結果、最終的に災害の発生につながっているといえよう。

労働災害は大幅な減少傾向を示さないまま推移しており、ヒューマンエラーによる災害への対応は危急の課題であると指摘されながらも、具体的対応を図ることは困難な状況にある。こうした状況を打破するためには、従来とは異なる災害調査手法を検討することが必要であろう。新たな災害調査手法においては、当事者の心理的側面の把握を重視したものでなければならない。また、責任回避のための事実の隠匿や歪曲を防ぐため、情報提供者の法的な保護を含めて検討する必要がある。

【研究2】

II - 1. はじめに

本研究課題では、「誰もがエラーを起こす可能性があり、そのエラーは不安全行動につながる可能性がある」という観点から、『不安全行動の誘発・体験システム』（以下、「体験システム」とする）について検討してきた。しかし、こうした体験を経ることのみで、作業者の安全意識の向上を期待できるわけではない。災害防止につながる回避手法を体得するための教育的なフィードバックを与えることが必要であり、そのための仕組みを体験システムに組み込む必要がある。

研究2では、体験システムを利用した体験から、不安全行動の回避手法を体得するまでの課題と対応について、具体例を交えつつ検討した。

II - 2. 疑似的な体験に基づく安全教育の課題

疑似的な体験を取り入れた安全教育に関する課題は、これまでに開発されてきたシミュレーションや教育手法にも見出すことができる。以下に、これらの課題について概観する。

II - 2 - 1. シミュレータのリアリティ

これまでも、バーチャルリアリティ等を利用した危険体験システムは存在する。コンピュータ技術の急速な発達と相まって、大規模かつ高価なシステムの場合、（とりわけ提示される映像に関して）極めて高いリアリティを発揮できるようになった。そのリアリティの高さが注目を集め、あらゆる疑似体験が可能となることで安全教育に大きな効果をもたらす、と期待が高まった時期もあるが、一方では、リアリティの追求が教育効果に及ぼす影響について疑問視する声もなかったわけではない^{1) 2)}。

特に、安全教育への活用を意図したシミュレータの場合、危険事象をシミュレートし安全意識の向上を図ることが多いが、危険事象ばかりがリアルに再現されることはむしろ非現実的である。また、どれほど優れたシミ

ュレータであっても、体験者はそれが疑似的な体験であることを容易に理解する。体験者の動機的諸条件のシミュレートが不可能である限り、シミュレーション事態での安全態度や客観的危険体験などの動機付けが歪められ、現実場面において生起する反応行動とは異なる可能性を排除できない。

すなわち、どれほど高いリアリティを発揮できるシミュレータであっても、人間の反応や行動を指標として捉えようとする場合には、体験者が「こうした体験は所詮疑似的な架空の出来事」と認識してしまつては、体験を通じて得られる変化を指標とすることの妥当性は確保できず、教育的な効果もほとんど期待出来なくなる。

II - 2 - 2. 実技による疑似的な体験

同様の問題は、シミュレータに限らず、実体験に基づく教育手法にもおいても指摘される。

近年、ある一定以上の経験（概ね10年以上）を有する建設機械等の運転者を対象として、長年の経験による「慣れ」に起因する熟練者に特有の危険軽視傾向を是正することを目指し、「危険再教育手法」が開発されている^{3) 4)}。ここで取り入れられた実技教育では、受講者に実際に機械を操作させつつ、危険事態に陥りそうな事象を体験させる。無論、事故につながらないように、安全性に配慮した条件設定が細かく定められ、統制された条件の下で実施される。

このような、疑似的な危険体験を取り入れた教育の実施方法においては、リアルでインパクトの強い体験内容を追求しがちであるが、ともすれば体験者を驚かせることに終始し、「度胸試し」的な内容に偏ることも少なくない。受講者にとって非現実的な体験内容であつては、対処方法や安全対策として日常の作業場面への展開を図ることは難しく、災害防止効果も期待出来なくなってしまう。

こうした点に留意し、「危険再認識教育」においては、「実技教育における疑似的な体験はあくまで災害発生に至る経緯や背景要因を考えるきっかけであり、体験すること自

体が目的ではない」という点が強調されている。

II - 3. 疑似体験を通じた教育手法の課題

「危険再認識教育」等のような疑似的な体験を取り入れた教育手法による災害防止効果を高めるために重要な点として、中村(2004)は「imagination- spiralの形成」を主張する⁵⁾。imagination-spiralとは、以下に区分された一連の手続きを経て連鎖的にイメージを喚起し、受講者自らが実用的な災害防止のポイントを探索する手法を習得するための、一種のイメージトレーニングの概念である(図7)。

- ①疑似体験の内容と実際の作業現場での経験・体験を関連付ける
- ②現実場面で起こりうる災害の発生原因や発生過程を具体的に、詳細にイメージする
- ③災害防止のための対処方法を検討する
- ④上記①～③を自発的・継続的に行う

II - 3 - 1. 疑似的な体験内容とその水準

疑似的な体験内容は、必ずしも実際の作業場面での体験内容に一致するとは限らない。一方、疑似体験のリアリティを追及することで具体的な作業状況・作業環境を再現し、危険状況を擬似的に体験させたとしても、前述の通り動機的諸条件のシミュレートが不可能である限り、教育的効果は期待出来ず、「体験すること」そのものが目的となってしまうがちである。

ここで、疑似体験は、「体験すること自体が目的ではなく、災害発生に至る経緯や背景要因を考えるきっかけである」と強調されている点に注目したい。現実とかけ離れすぎた体験内容では、体験者の過去経験や知識との関連付けが阻害されるが、違和感を与えない程度の内容であれば、その後のイメージ形成も容易になる。現実と同一の体験でなくとも、それに関連する内容を含めることでイメージ形成を容易にすることが可能であれば、高いリアリティを追求する必要はない。

但し、このような関連付けやイメージ形成は、受講者単独で達成できるものではなく、何らかの形で補助的な働きかけが必要である。「危険再認識教育」の場合、その役割は指導員に委ねられる。体験に伴い「実際の現場で似たようなことが起これば、どんな結果につながるか?」「もしも、条件が異なっていたら?」「異なる操作をしていたとすれば?」「気付かなかったとすれば?」といったように、指導員が様々な問いを投げかけることで、受講者にとっての現実場面との関連付けとイメージ形成を促す。これが、前述の①及び②に相当する段階である。体験を伴わないイメージ形成も不可能ではないが(例えばKYシート等の活用等)、疑似的で簡略化された内容であっても、体験に基づいたイメージ形成は受講者にとってより理解しやすく、現実味を帯びたものとなる。

II - 3 - 2. 疑似体験のフォローアップ

疑似的な体験から実際の作業現場で生じる危険性をイメージした次の段階では、災

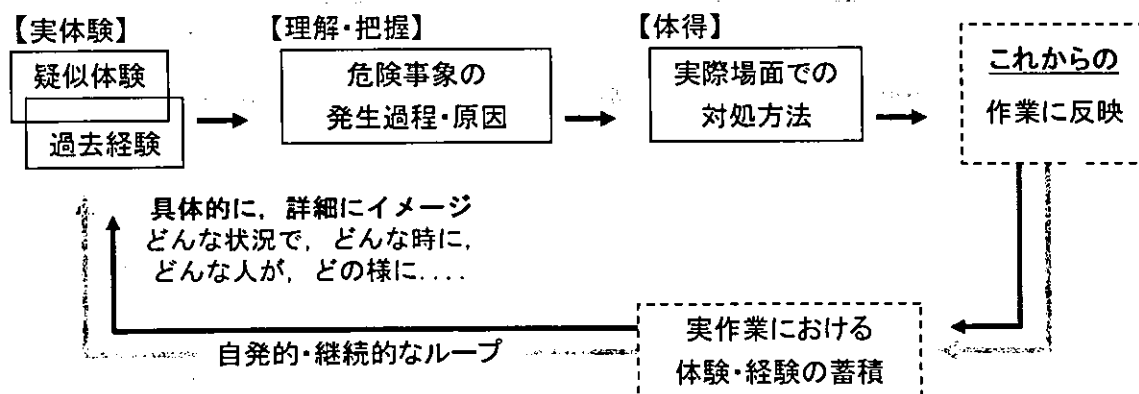


図7 imagination-spiral の概念

害につながる条件や要因，ならびにそれらへの対処方法について検討する必要がある。疑似体験を素材として，単に「このような事態に陥ると危険だから，やってはいけない」「このような事態に陥らないように，十分に注意する必要がある」といった結論では，実用的な対処方法につながらず，根本的な災害防止対策とはならないためである。

ここで注意しなければならないのは，イメージされた内容はあくまで仮想的なものであり，細部にこだわるほど様々な不確定要素が関連するため，唯一絶対の「原因究明」や「対処方法」を追求することは重要ではない，という点である。「危険再認識教育」の対象者は熟練者であり，現場での経験は指導員より豊富である場合がほとんどである。基本原則から逸脱しない模範解答ばかりを提示されても，説得力に乏しく現場の実態にそぐわない，という印象を抱かれてしまう恐れもある。また，「規則を守ってさえいれば絶対安全」「基本に忠実でさえあれば絶対安全」といった認識を助長することになれば，主体的に安全を確保する姿勢を育むことが困難になる恐れもある。むしろ，様々な状況・条件を想定した上で，「より良い対処方法は何であるか？」を受講者と指導員が一体となって検討することが望ましい。その上で，基本原則や規則の背景・成り立ち等にまで検討範囲をひろげることが出来れば，次の段階においても効果的な展開が期待できる。

II - 3 - 3. 自発的・継続的なループの形成

疑似的な体験に基づき実際場面で生じ得る災害の発生過程や原因をイメージし，その対処方法について検討した結果得られるものがあつたのであれば，あとは受講者自身が実際の作業に反映させ，自ら安全確保に取り組んでいくことになる。

受講者が，災害防止のために何をすべきかを的確に理解し実作業に反映させ，さらに全く変化のない作業環境で定常的な作業に従事すると仮定しても，作業員自身の心理的・生理的条件が非正常であることを考慮すれば，災害につながり得る要因は無限に存在

し，取り組むべき課題も変化する。いふなれば，実際の作業に従事しつつも，過去経験や知識と関連付けイメージを形成する材料は常に変化し，提供され続けるのである。

この段階で，受講者が独力で「体験内容と過去経験・知識との関連付け→イメージの形成→危険要因の検討→対策の検討→実作業への反映」というプロセスを辿ることが出来れば，日常的な作業経験から材料を得ながら自発的にイメージトレーニングを行うことで，熟練者としての資質向上を図る継続的なループを描くことが出来るようになる。

II - 4. 体験システムにおける展開例

体験システムを用いたエラー体験は，狭義には，体験者にとって疑似体験ではなく実体験である。しかし，不特定多数の体験者にとって，自らの日常的な作業場面に置き換えて，体験システム上で発生したエラーと災害の原因ともなり得る不安全行動とのつながりを理解することは，必ずしも容易ではない。

その意味においては，体験システムによるエラー体験は，疑似体験の場合と同様に，体験すること自体が目的とはならず，何らかの形で実際の作業場面における不安全行動や災害との関連付けがなされることが必要である。

ここでは，体験システムを用いて不安全行動の回避手法を体得するまでの課題と対応について検討する。

II - 4 - 1. エラー体験の提示方法

体験システムにおいて，エラー体験を再現するための具体的な場面をリアルに再現することは技術的に不可能ではないが，シミュレータの場合と同様，リアリティを追求することにはあまり意味はない。リアリティを迫及するほど費用は高額になるが，費用に見合うほどの効果は期待出来ず，さらに具体的な場面設定を追及するほど場面構成の複雑さが増すためである。そのため，体験システム上でエラー発生に至る状況性と，実際の作業場面において起こりがちな状況性とが同一である必要はなく，一般的な人間の行動とし

て違和感を与えない程度のものであれば良い。エラー体験内容と日常的な作業における体験内容との乖離が少ないに越したことはないものの、むしろ、エラー発生に至る経緯や状況性などが、体験者にとって理解し易いものであることが重要である。

また、エラーの発生の程度や頻度は、個人差やその時々状況性に左右される。加えて、体験者が体験システムの内容や目的を承知した上で課題に取り組むのであれば、ある種の「構え（準備性）」をもって体験に臨む場合もあるだろう。こうしたことから、必ずしもシステム設計者の意図通りにエラーが発生しない場合も起こり得る。

エラーを体験すること自体が目的ではないとはいえ、体験システムにより、最終的には不安全行動の回避手法を体得させることを目標とするのであれば、この段階ではエラー発生に至る経緯や状況性を理解させることが重要である。その意味で、意図通りにエラーが発生しなかった場合にも、次の段階へ移行するための最低限の知識等を付与するための工夫が必要である。

例えば、同一の課題内容における一般的なエラー発生確率、同様のエラーが発生しやすい条件、エラー耐性を低下させる要因などの情報を体験後に提示することにより、体験者の理解をさらに深めることが可能となるであろう。

II - 4 - 2. エラー体験と実際場面の関連付け

次の段階においては、体験システムにおけるエラー体験を、実際場面における不安全行動や災害の発生可能性と関連付けることが必要となる。

指導方法に関して訓練を受けたインストラクター等の介在があれば、こうした関連付けは比較的容易である。しかし、体験システムの場合、簡便な設備を用いて体験する機会を豊富に提供することを一つの狙いとしていることから、事前準備や人材の育成に多大な時間と労力を要することなく、むしろ PC の機能の範囲内で目的を達成できることが

望ましい。

加えて、単に「エラーは誰にでも起こりうる事象である」という認識の形成に留まれば、これまでも度々問題点として指摘されるように、「エラーは防ぎようがない、仕方がない」的な発想につながりかねない。従って、エラー体験と実際の作業場面の関連付けの段階では、エラーが不安全行動や災害へと発展することの重大性や深刻さを併せて認識させる工夫が必要であろう。

エラーと実際場面との関連付けが容易で、エラーがどのような結果につながり得るのかを比較的分かりやすく提示できる方法の一つは、災害事例の提示である。災害事例は様々な形で公開されており、これまでの蓄積も多いことから、素材は豊富に供給される。事例を使い分けることで、体験システムの活用範囲を様々な職種や作業内容に広く展開することも可能である。

但し、エラー体験と実際場面との関連付けを強化する意味では、体験内容に含まれるエラー要因が災害原因として把握されやすい事例であることが条件である。実際の事例の場合、災害発生原因は他の要因と複雑に関連していることが多い。そのため、体験内容のエラー要因との災害発生との関係を整理し、目的に応じて事例の内容を改変する等の工夫が必要である。また、提示される事例はフィクションであってもよいが、エラーに起因する危険性を強調するあまり非現実的な内容になってしまうと、むしろエラー体験と実際場面との関連付けを阻害する恐れがあり、注意が必要である。

II - 4 - 3. エラー要因と災害事例

以下に、エラー体験と実際場面との関連付けの展開例として、いくつかの災害事例を示す。また、その事例に関連するエラー要因を（ ）内、及び下線部で示す。

なお、以下に示される災害事例ならびに関連するエラー要因は、エラー体験と実際場面との関連付けを意識して一部改変を加えており、実際に発生した災害とは異なる内容である。

=====

【事例5】

Aはローラーを運転して、Bらが敷き均した箇所を転圧していた。Aは運転席右下のT張糸を注視しながら（注意の偏り）ローラーを運転していて、Bに気づかなかった。ローラーはBに接触し、Bはローラーと鉄骨柱の間に挟まれた。

=====

【事例6】

AとBの2名は縁石の運搬作業を行っていた。ドラグ・ショベルで縁石1個を吊り上げトラックの荷台に乗せた後、Bはトラックの荷台左側でバケット上方の玉掛け用具を外していたが外れなかった。ドラグ・ショベルの運転手Aは、この玉掛け用具を外すため、エンジンを停止させないまま（省略）運転席から降りようとした（作業中断）。この時、着ていたジャンパーが旋回レバーに引っかかったことに気付かなかったため、バケットが左旋回し、荷台の左側にいた被災者の胸部にバケットが激突した。

=====

【事例7】

ドラグ・ショベルを貨物自動車の荷台に乗せたところ、この貨物自動車が坂道を逸走しはじめた。無人の自動車を止めようとしたAが駐車ブレーキを引き直すため運転席に乗り込もうとした時（焦り・慌て）、自動車のドアが右側民家石垣に当たり、Aは車体と運転席のドアに挟まれて地面に落下した。災害の発生した現場は約4度の勾配があり、通常は駐車ブレーキの他に後輪に輪止めをするようにしていたが、この時はしていなかった（省略）。

=====

【事例8】

電柱2本を建柱車のクレーンで吊り上げたところ、建柱車が横転し、クレーンフックからの荷外し作業のために待機していたAが、倒れてきたクレーンジブと柱との間に挟まれた。災害発生時、クレーンのすべてのアウトリガーを最大限に張り出しておらず（省略）、転倒防止用敷板を敷設していなかった

（省略）。

=====

【事例9】

道路の片側一車線を通行規制し草刈作業を行っていた。Aは、草刈後の草を積み込むためパッカー車を規制区内で後進させていたところ、路肩で草刈作業をしていたBを後輪で轢いてしまった。Aは、誘導の合図をした別な作業員が近くを歩いていたため、何かあれば合図をくれるだろうと思っていた（思い込み）。また、一般車両に気を取られていたため（注意の偏り）、Bに気付かなかった。

=====

【事例10】

住宅新築工事において、鉄筋組み立て工事の配筋作業中に鉄筋が足りなくなり、鉄筋を搬入することになった（作業中断）。Aが足場の作業床の上に立ち長さ約7mの鉄筋を手渡しで運んでいたとき、約2.3m離れた高圧線に触れ感電し、約9m下の地上に落下し死亡した。感電の危険性がある場所での作業であったことは承知していたが、作業が短時間ですむとして、安全な作業方法を検討していなかった（省略）。

=====

【事例11】

高圧配電線路張替作業の準備のため、トラッククレーンで搬送してきた電線ドラムを荷卸するため、搭載されたクレーンを用いて電線ドラムを吊り上げ旋回したところ、地上から高さ約7.7mの位置にあった高圧活線にブームが接触し、クレーンを操作していたAが感電した。Aは、荷台と荷卸し位置の間にあった警報機をさけることに注意が偏り、高圧線に接触しそうなことに気付かなかった。

=====

【事例12】

立木の伐倒作業中、Aは下方にいるBに伐倒の合図を行い、Bの退避を確認した後で伐倒の作業をおこなった。しかし、伐倒の途中に別な風倒木の処理を行った（作業中断）ことから作業時間が長引き、Bは伐倒作業が中

断されたものと思い込んで伐倒木が倒れる直前に元の作業場所に戻っていたため、A が伐倒した木がBの背中を直撃した。

=====

【事例13】

Aらは工事の最終確認を行うため、ゲート前の構内通路を横断していた。この時Aの携帯電話が鳴り、Aは電話で話を始めた。その時、運転手Bはゲート前の構内道路上でトラックを後退させており、Aら数名が横断するのをミラーで確認してトラックを停車させた。Bは、数名が横断し終わったのを確認して全員が横断し終わったものと思込み、再び後進し始めたところ、携帯電話での会話に気をとられていたA（注意の偏り）を左側後輪で轢いた。

=====

II - 4 - 4. より主体的な取り組みのために

このような災害事例の提示を伴うことで、体験システムにおけるエラー体験と、実際場面における不安全行動や災害の発生可能性との関連付けが容易になると期待される。

このような災害事例の提示は、エラーが災害に発展する経緯の具体的な例を手がかりとして、自らの日常的な作業場面において取り組むべき課題に体験者を誘導することを意図している。エラーや災害の発生に対する当事者意識をさらに喚起し、体験システムを通じた不安全行動回避手法の体得に主体的に取り組む態度の形成を促すために、災害事例の提示方法を工夫することも必要である。

以下に、災害事例の提示方法について例を示す。【事例14】及び【事例15】は、前述の事例のような客観的な視点からの記述ではなく、当事者としての視点に基づいて表現を変更したものである。

=====

【事例14】

あなたは、ABB（エアパーストサーキットブレーカー：空気遮断器）細密点検作業の指揮を執っています。部下からは「今日の点検作業は全て終わりました」と報告があり、あなたは作業の点検チェックリストの最終確

認をしています。

部下から提出されたリストには、点検したはずなのにチェックされていない箇所がありました。点検し忘れていたのか、単なるチェック漏れなのか、あなたには分かりません。あなたはチェックされていない箇所を確認するため、ABBの扉を開け、内部を覗きこもうとしています。

さて、この直後にどのようなことが起きると考えられますか？どのような点に気をつけなければならないでしょうか？

=====

【事例15】

あなたは、セメント製造プラントのオペレータです。今日はプラントの清掃作業のためプラントの操業は停止しており、あなたは3名の作業員に対する作業監督と指揮を行っています。

あなたはプラント内のベルトコンベアの清掃を行うため、コンベアを一時的に動かす必要があることに気付きました。ベルトコンベアの近くにあるミキサーの清掃作業を行っていた作業員に「今からベルトコンベアを動かすから、コンベアに近づかないでくれよ。」と声をかけたところ、その作業員は「分かりました。」と返事をし、あなたはプラントの操作室に向かいました。

プラントの操作室で、あなたは操作盤のベルトコンベア起動スイッチを押そうとしています。ベルトコンベア起動スイッチのすぐ隣には、ミキサーの起動装置があります。

さて、この直後にどのようなことが起きると考えられますか？どのような点に気をつけなければならないでしょうか？

=====

このように、災害事例を異なる観点から表現し、さらに設問（下線部）を加えることで、エラーの発生と災害との関連をより主観的に捉えやすくなり、イメージの形成を促す効果が期待できる。

さらに、【事例16】から【事例18】は、同一の事例を異なる当事者の視点から、2通り（A、及びB）に分けて表現したものである。

=====

【事例16-A】

あなたはドラグ・ショベルを操作して掘削作業を行っています。作業の最中に、現場監督から「明日の作業の打合せをしたいから、ちょっと来てくれ。」と声をかけられました。あなたはドラグ・ショベルのエンジンを停止させ、現場事務所まで行って現場監督と打合せを行いました。

打合せはすぐに終わりました。作業現場に戻ってみると、不整地運搬車がドラグ・ショベルの近くに停まっています。あなたはドラグ・ショベルの運転席に乗り込み、エンジンを始動します。ドラグ・ショベルと不整地運搬車との間の距離はちょっと近いようですが、運転席には誰もいません。あなたは、作業の続きを行うために、ドラグ・ショベルを左に旋回させようとしています。

さて、この直後にどのようなことが起きると考えられますか？どのような点に気をつけなければならないのでしょうか？

【事例16-B】

あなたは不整地運搬車を操作して、掘削作業現場まで資材を運んでいます。

掘削作業現場に到着しましたが、ドラグ・ショベルのエンジンは停止したまま、全く動いていません。資材を降ろす場所を誰かに尋ねたかったのですが、運転席には誰も乗っていません。あなたは仕方なく、ドラグ・ショベルの近くに不整地運搬車を停車させました。運転席から降りて、作業の進捗を確かめるため、既に掘削作業が終了した場所に向かって歩いていきます。

その時、後方でドラグ・ショベルのエンジンの音が聞こえ始めました。どこかに行っていたショベルのオペレータが戻ってきた様子です。あなたは、不整地運搬車をドラグ・ショベルの近くに停めたことを思い出し、ドラグ・ショベルの邪魔にならないようにすぐに移動させたほうが良いと考えました。

あなたはドラグ・ショベルの後方を通りながら小走りで不整地運搬車に戻り、運転席に乗り込もうとしています。

さて、この直後にどのようなことが起きると考えられますか？どのような点に気をつけなければならないのでしょうか？

=====

【事例17-A】

あなたはタイヤローラーのオペレータです。今日は路盤の締め固め作業を行っています。

休憩時間となったので、あなたは路肩にタイヤローラーを停止させ、いつもの通り他の作業員達と共に休憩を取っています。今日はいつもにもまして風が強く、みぞれ交じりの天候です。作業員のうちの数名は、冷たい北風を少しでも避けるかのようにタイヤローラーの前方に敷いたシートにしゃがみこんで、熱いお茶をすすっています。あなたは、タイヤローラーの左側で、もう一人のオペレータと世間話をしています。

誰かが「そろそろ始めようか。」と声をかけました。あなたは運転席に乗り込みました。タンクに給水するため後進したかったのですが、後方にはもう一台のタイヤローラーが停止しています。そのタイヤローラーのオペレータはトイレにでも行っているのか、まだ運転席に姿はありません。あなたは、後方に停止したタイヤローラーが動き出すまで待っているわけにもいかず、ひとまず前進し、Uターンして給水場所まで行くことを思いつきました。

他の作業員はそれぞれ自分の持ち場に戻り、既に作業を再開している者もいます。あなたはエンジンを始動し、ギヤを前進に入れて発進しようとしています。

さて、この直後にどのようなことが起きると考えられますか？どのような点に気をつけなければならないのでしょうか？

【事例17-B】

あなたは道路建設作業員に従事しています。今日は路盤締め固め作業を行っています。

休憩時間となったので、あなたはいつもの通り他の作業員にお茶を勧めながら、自分も休憩を取っています。今日はいつもにもまして風が強く、みぞれ交じりの天候です。あな

たは、冷たい北風を少しでも避けるためにタイヤローラーの前方に敷いたビニールシートにしゃがみこんで、数名の作業員達と一緒に熱いお茶をすすっています。

誰かが「そろそろ始めようか。」と声をかけました。もう少し休憩していたかったのですが、仕方ありません。あなたはいつもの通り、ポットやコップを片付け、ビニールシートに座っていた作業員達が立ち上がるのを待ってからシートをたたみはじめました。

風除けの役目をしていたタイヤローラーのエンジンが始動しました。あなたはちょうどビニールシートをたたみ終えて、路肩に向けて歩き始めています。

さて、この直後にどのようなことが起きると考えられますか？どのような点に気をつけなければならないのでしょうか？

=====

【事例18-A】

照明設備設置のため、あなたは2名の作業員とともに建柱車を使用して道路灯用の基礎用穴の掘削作業を行っています。作業員の一人が建柱車のクレーンを操作し、前日に埋められていた基礎を引き上げました。前日の作業終了時に深さが足りなかったため、再度掘削する必要があります。掘削面に石などがあると機械がスムーズに動かなくなるため、あなたはスコップを手に穴の中に入りました。

頭上からは「ちょっとトイレに行ってくる。」という誘導者の声が聞こえてきました。あなたは掘削面に石が埋まっていないか、確認する作業を始めました。建柱車の運転手は、ブームに掘削装置（オーガー）をセットしている様子です。

さて、この直後にどのようなことが起きると考えられますか？どのような点に気をつけなければならないのでしょうか？

【事例18-B】

照明設備設置のため、あなたは2名の作業員とともに建柱車を使用して道路灯用の基礎用穴の掘削作業を行っています。あなたは建柱車のクレーンを操作し、前日に埋められ

ていた基礎を引き上げました。前日の作業終了時に深さが足りなかったため、再度掘削する必要があります。あなたがブームに掘削装置（オーガー）をセットし穴の方向にブームを回転させ始めたとき、誘導者が「ちょっとトイレに行ってくる。」と言って現場を離れました。あなたは運転席から見える穴の表面にオーガーを入れ、約1分間回転させました。

トイレに行っていた誘導者が戻ってきて、あなたに「もう一人の作業者はどこに行った？」と尋ねてきました。あなたには心当たりがありません。

さて、この直後にどのようなことが起きると考えられますか？どのような点に気をつけなければならないのでしょうか？

=====

客観的な表現の場合、災害に至る過程を第三者的観点から捉えがちになるが、前述の例のように、主観的な視点から、さらに異なる当事者としての視点から捉え直すことで、より多面的な理解を促すことが期待される。

なお、ここまで示した提示例では、最終的にどのような結末に至ったかが示されていない。これは、事例の最後に示された問いに対して画一的な先入観が入り込むことを防ぎ、体験者にとっての日常的な作業場面へのイメージ展開と自由な発想を妨げないためであるが、災害原因の把握と具体的な対策の検討を行うためには、最終的にはストーリーの結末について提示すべきである。なお、災害原因の把握と対策の検討を行う段階では、むしろ客観的・現実的な発想が必要であることから、提示されるストーリーの結末は主観的な表現である必要はない。

以下に、事例10から事例14の結末について示す。

=====

【事例14】

本来、停電状態でチェックリストの確認を行うはずだが、被災者は作業が終了し通電した後に確認を行ったために、通電されているABBに接触し感電した。

被災者が確認しようとしていた箇所は、実際には確認済みであり、チェック欄に記入す

ることだけが残されていた。

=====

【事例15】

プラントオペレータが本来押そうとしていたスイッチ（ベルトコンベアの起動）の隣のスイッチ（ミキサーの起動）を押してしまったため、ミキサーの清掃作業を行っていた作業員がミキサーに巻き込まれた。

作業手順書には「主電源の切断」が明示されているが、「主電源」についての明確な定義づけがなく、清掃中の各設備の起動装置の管理についても触れられていない。その結果、プラントオペレータは、操作盤の鍵式スイッチ（＝操作盤の操作電源）が主電源であると理解し、自分の判断で鍵を「切」に回したものの、鍵穴に挿したまま作業を行い、プラントの起動装置（赤ボタン）は放置されたままだった。

=====

【事例15】

左旋回したドラグ・ショベルのカウンターウエイトが不整地運搬車の運転席付近に激突し、ちょうど運転席に乗り込もうとしていた被災者が挟まれて死亡した。

=====

【事例17】

タイヤローラーが発進し、ローラー前方にいた作業員が轢かれて死亡した。

タイヤローラーのオペレータは、作業員がそれぞれの持ち場に戻っていくのを確認して、ローラーの前方には誰もいないと思い込んでいた。

=====

【事例18】

誘導者がもう一人の作業員がいないことに気づき、これを建柱車の運転手に伝え、運転手がオーガーを引き上げたところ、被災者が巻き込まれた状態で発見された。

=====

II - 4 - 5. システムへの実装に関する課題

エラー体験に端を発し、実際場面での災害防止対策の検討に導くための災害事例の提示であるが、PC画面上にテキスト文書で記

述された災害事例を熟読せよ、と求めることは、体験者にとって少なからず負担となる。体験者にとって魅力的かつ効果的なシステムの構築のため、PCへの体験システムの実装段階では、災害事例の展開方法について検討する必要がある。

体験システムはPC上で簡便に運用されることを前提としていることから、例えば、災害事例の内容を示すイラスト等の挿入は容易である。また、災害事例をCG動画等で提示すれば、表現の幅が広がり、体験者にとっても馴染みやすいものとなるだろう。

また、一方的な事例の提示に留まらず、災害事例のストーリーから「どのようなエラー要因が考えられるか」、「適切な対処方法は何であるか」等の設問と回答の選択肢を用意し、体験者の回答を評価するなど、体験システムと体験者の間の双方向的なやり取りを行うことで、効果的なフィードバックを与えることが可能となる。

II - 5. おわりに

体験システムを利用した体験から、災害防止のための回避手法を体得するまでの課題と対応について、本稿における検討内容を以下にまとめる。

- ①疑似的な体験のリアリティを追及することは、教育効果の向上に直接つながるものではない。
- ②むしろ、疑似的な体験であっても、その体験に基づく実際場面への関連付けが重要である。
- ③エラー体験そのものが目的ではなく、体験をきっかけとしたイメージの形成が必要である。
- ④エラー発生と災害発生との関連を比較的容易に把握し、災害原因の把握・対処方法の検討に展開させる素材の一つは、災害事例である。
- ⑤災害事例は、体験システムの構成と機能等によって異なる方法で提示することが可能であり、実装段階で、より効果的な提示方法について検討する必要がある。

〈参考文献〉

- 1) 中村隆宏 (2003). 心理的事象に関連する事故事例の抽出と災害要因の検討 厚生労働科学研究費補助金労働安全衛生総合研究事業平成 14 年度総括・分担研究報告書 不安全行動の誘発・体感システムの構築とその回避手法に関する研究, 5-40.
- 2) 中村隆宏、深谷 潔、呂 健、江川義之、奥水ヒカル (2001) 掘削機操作における眼球運動と有効視野 厚生労働省産業安全研究所特別研究報告 (NIIS-SRR-NO.23), pp.15-34
- 3) 中村隆宏、深谷 潔、万年園子 (2003) 掘削機オペレータの眼球運動と注視行動、独立行政法人産業安全研究所特別研究報告 (NIIS-SRR-NO.28) , pp.63-82
- 4) 社団法人全国指定教習機関協会, (2001) 「車両系建設機械等 (ドラグ・ショベル) の「危険再認識教育普及事業」における実技教育実施要領
- 5) 社団法人全国指定教習機関協会, (2003) 「車両系建設機械等 (ローラー) の「危険再認識教育普及事業」における実技教育実施要領
- 6) 中村隆宏 (2004) 労働安全教育における疑似的な危険体験の課題と展望—危険再認識教育を例に—, 土木学会第 59 回年次学術講演会講演概要集, pp.619-620

Ⅱ. 研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Usui, S., Egawa, Y.	Psycho-physiological analysis of mental workload at a high-elevated work place	Japanese Psychological Research	Vol.44, No.3	152-161	2002
Shinohara, K., Miura, T. and Usui, S.	Tapping task as an index of mental workload in a time sharing task	Japanese Psychological Research	Vol.44, No.3	144-151	2002
Usui, S., Egawa, T., Shoji, T. and Nakamura, T.	Psychological analysis of mental workload at an elevated work place: Comparison between elderly and young workers	Proceedings of the XVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association		CD-ROM	2003
Shinohara, K.	Measuring mental workload arising from mental-set switching	Proceedings of the XVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association		CD-ROM	2003
江川義之、臼井伸之介、庄司卓郎、中村隆宏	建設工事における高所作業に関する人間工学的研究	独立行政法人産業安全研究所特別研究報告	NIIS-S RR- No.28	33-48	2003
中村隆宏、深谷潔、万年園子	掘削機操作におけるタイムプレッシャーの影響	独立行政法人産業安全研究所特別研究報告	NIIS-S RR- No.28	83-90	2003

Nakamura T., Usui S., Shinohara K., Kanda K.	The Psychological Factors concerning Human Errors as the Cause of Labour Accidents in Japan,	PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT AND MANAGEMENT	vol.1	1-6	2004
--	--	--	-------	-----	------

学会論文集

篠原一光、小高 恵、三浦利章	質問紙による日常的注 意経験の構造に関する 研究	日本心理学会第66 回大会発表論文集		641	2002
篠原一光、小高 恵、三浦利章	注意制御に関係する日 常的経験についての研 究	平成14年度日本人 間工学会関西支部 大会講演論文集		74-77	2002
神田幸治・小早川 竜彦・臼井伸之 介・篠原一光・中 村隆宏・太刀掛俊 之	CFQは時間的圧力下の注 意配分行動を予測する か	日本認知心理学会 第2回大会発表論 文集		57	2004
篠原一光、神田幸 治、臼井伸之介、 中村隆宏、太刀掛 俊之、小高恵	注意制御に関係する日 常的経験と内田クレベ リン精神検査の関連性 の検討	日本人間工学会第 45回大会講演集		442-443	2004
太刀掛俊之、臼井 伸之介、篠原一 光、中村隆宏、神 田幸治	外乱により誘発される エラーの発生メカニズ ムに関する実験的研究	日本応用心理学会 第71回大会発表論 文集		25	2004
臼井伸之介	災害事例に学ぶ不安全 行動の防止	第63回全国安全衛 生大会（中小企業 分科会・特別報告） 研究発表集		85-87	2004

Ⅲ. 研究成果の刊行物・別刷

Psycho-physiological analysis of mental workload at an elevated work place

SHINNOSUKE USUI

*Graduate school of Human Sciences, Osaka University, Yamadaoka, Suita,
Osaka 565-0871, Japan*

YOSHIYUKI EGAWA

*National Institute of Industrial Safety, Independent Administrative Institution,
Umezono, Kiyose, Tokyo, 204-0024, Japan*

Abstract: The purpose of the present study was to make a psycho-physiological analysis in order to study the degree of mental workload at an elevated place. Two experiments were carried out on 10 scaffolding workers and 10 office workers (seven in Experiment 2), who were made to walk along the footing boards of a temporary scaffold. In Experiment 1, the psycho-physiological responses of the subjects were measured. In experiment 2, the subjects' spare capacity at an elevated place was measured using a dual task method. The results did not indicate any clear physiological response due to height elevation, although an increase in mental workload caused by the height was observed and secondary task performance fell at an elevated place in the office workers. The effect of the height was less noticeable on the scaffolding workers than on the office workers, but their spare capacity at that height decreased as the task demand increased due to narrower footing boards or increased task difficulty.

Key words: mental workload, accidents, high-elevated place, human error, human factors.

The number of fatalities due to industrial accidents in Japan in 1999 was 1992, with the construction industry accounting for the greatest share with 794 fatalities. Furthermore, working at an elevated place was one of the most dangerous jobs, with 325 deaths in the construction industry resulting from falls. This annual number of deaths has hardly changed over the past 10 years. A 1987 comparison of the annual number of fatalities due to construction industry accidents in various countries shows that the risk of death in Japan of 20.3 fatalities per 100 000 workers, is similar to the United States (23.0), and European countries such as Germany (20.0), and France (21.2) (Watanabe & Hanayasu, 1995).

As Reason (1990) has indicated, although hard measures such as the development of new technology are needed to prevent accidents,

soft measures must also be studied in order to clarify the human factors behind accidents and take into account the characteristics of human beings.

There have been several studies of human characteristics at an elevated place. Kobayashi and Tamura (1995) assessed the physical workload at height by looking at the relationship between the measured heart rates of people working on chimney maintenance and the kind of work done. A questionnaire survey of construction workers made by Suzuki et al. (1998, 1999) showed that the degree of danger when working in an elevated place not only results in a larger physical workload but also a greater mental workload due to fear and tension caused by the height. Koningsveld (1997) reviewed studies in the construction industry and highlighted the need for research

into improvements in the work environment from an ergonomic point of view. However, there has been little ergonomic research in this area, and so the degree of mental workload of people at an elevated place remains largely unclear.

The present study aimed to obtain standard data, which will enable the establishment of a safe industrial environment. We performed two experiments in which subjects walked along the footing boards of temporary scaffolding; various work-environment conditions, such as the height and width of the footing boards, were adjusted. We then measured the degree of mental workload at height by an analysis of the psychological and physiological responses of the subjects under different conditions.

In Experiment 1, we obtained indices of mental workload by measuring physiological responses, such as heart rate, blood pressure and myogenic potential, and obtained a subjective assessment of the work environment.

In Experiment 2, we assessed mental workload at height by giving the subjects a dual task, in which they had to respond to specific numbers while at an elevated place, and judged their performance in that secondary task.

The theory of measuring spare capacity using a dual task method comes from the unitary general purpose resource theory advocated by Norman and Bobrow (1975). It was applied in the following manner: as the width of the footing board is reduced there is an increased load on tasks due to feelings of tension and insecurity when walking, and thus a poorer performance in the secondary task can be expected due to a reduction in spare capacity.

We performed the experiments with scaffolding workers employed in large construction work and office workers with no experience of such work, and studied the effect of the mental workload of being at an elevated position. Scaffolding workers' work performance at height is thought to be better than that of office workers. We therefore performed a comparative study to clarify the behavioral characteristics of skilled workers working at height and also their risk factors during the work.

Experiment 1

Method

Subjects. The 20 subjects, all male, were 10 skilled scaffolding workers and 10 unskilled students and office workers. The skilled group ranged in age from 18 to 43 years with an average age of 24.5 years, $SD = 8.3$, and an average of 3.3 years experience. The unskilled group ranged in age from 21 to 48 years with an average age of 26.3 years, $SD = 8.4$, one of whom was excluded from the analysis due to incomplete data. The details of the experiment were explained to the subjects and their agreement to participate was obtained. The skilled workers received a daily payment equivalent to their normal wages.

Temporary scaffold. A temporary scaffolding consisting of eight levels and six spans and with a frame width of 1200 mm, span length of 1800 mm and level height of 1700 mm was erected within an experiment building. Figure 1 shows the front and side views of the scaffolding, and Figure 2 shows a scene from the experiment. The levels are shown as horizontal lines and the spans by vertical columns, while the thick lines in Figure 1 represent the parts where the subjects could walk. The spans on the extreme left and right were fitted with footing boards across their entire width of 1200 mm (called resting boards), and footing boards either 240 mm or 500 mm wide were fitted in the four middle spans, on which the subjects walked during the experiment.

Measurement of physiological response. Three physiological responses of the subjects were measured: myogenic potential, heart rate and blood pressure. To measure the myogenic potential, electrodes were attached to the tibialis anterior musculus. A high myogenic potential is seen in this muscle during the swing phase of walking, the period during which the foot is off the floor. In fact the electromyogram wave form in this swing phase is separated into two peaks, the first immediately after the foot is pushed backwards and the second when the heel of the foot makes contact with the ground.