

石油精製プラントメンテナンス作業用安全教育支援システムの研究開発

吉野 撰津子 久保田 孝幸
小宮 英孝

Research and Development of A Safety Education System to Support and Activate Before-Work Safety Activities

Setsuko Yoshino Takayuki Kubota
Hidetaka Komiya

Abstract

A safety education system has been developed to support and activate before-work safety activities for workers on oil plant shutdown maintenance, especially for heat exchanger maintenance. The prototype system was installed in PDA and it enabled workers to refer to suitable information at the worksite, in terms of work contents, individual factors and work environment. To collect data for an unsafe action database, we conducted questionnaire surveys of worker's near-miss experiences. The main findings were: 1) some working conditions, such as unnatural working postures and the need for quick reactions had a significantly affected the worker's unsafe actions, 2) workers' occupations significantly affected their levels of safety awareness. It was suggested that those findings could be incorporated into hazard rank criteria and also suggested that more intense safety education would be needed for inexperienced and unskilled workers.

概要

本研究開発では石油精製プラントメンテナンス作業において、作業工程や場所特有の危険要因だけでなく、作業グループや作業員の個人属性、個人の状態、作業環境等を含めた安全教育支援システムおよびツールの開発を目的とした。具体的には、石油精製プラントメンテナンス作業においてクリティカルパスとされる熱交換器作業のひやり・はっと事例を収集し、災害事例を加えて不安全行動データベースを作成した。このデータベースより、パソコンに入力された作業工程、天候、作業員属性（年齢、経験年数、職種）、作業員状態、作業環境を変数とし、各変数の組合わせに対応して、ひやり・はっと生起予測リストデータベースを作成した上で、当日作業の相対的な危険度（事故の重度・頻度）を出力するしくみを構築した。併せて、当日作業条件に適合するひやり・はっと事例とその対策を出力する事により、作業員の安全教育に寄与する情報を提供可能にした。

1. はじめに

石油精製プラントメンテナンス作業現場における事故防止対策としては、主に災害事例紹介による同種災害再発防止教育が行われている他、作業前の朝礼時において、危険予知活動や指差し呼称運動等の安全活動が展開されている。しかし、前者は日常的に行われておらず、後者は作業員個人の経験による危険予知事象の提起に依存するため、危険予知範囲から重要項目が外れていたり、場所特有のノウハウ的危険要因に関する情報については、周知や共有がされにくい状況にある。加えて、危険予知内容のマンネリ化や安全活動のルーチン化による作業員自身の意識の低下といった問題がある。

石油精製プラントでは規制緩和により、これまで2年に1度であった定期修繕が4年に1度になることから、危険予知に関するノウハウの継承が希薄になる可能性が大きい。さらに、作業員の高齢化や工程短縮化が進む傾向にある。

このような状況下で従来通りの安全性を担保するためには、現状よりさらに一步踏み込んだ安全教育システムが必要であると考えられる。

本研究開発では、石油精製プラントのメンテナンス作業の現場安全活動において、作業工程や場所特有の危険要因だけでなく、作業グループや作業員の個人属性、個人の状態、作業環境等も含めた安全教育システムおよびツールを開発することを目的とした。具体的には、メンテナンス作業においてクリティカルパスとされる熱交換器作業のひやり・はっと事例を収集し、災害事例を加えて不安全行動情報データベースを作成した。このデータベースより、携帯情報端末（PDA）に入力された個人や作業条件等に係わる事項に適合した不安全行動情報を検索・抽出するとともに、作業の危険度（事故の重度・頻度）を表示する安全教育システムおよびツールの開発を進めた。

2. 不安全行動情報データベースの作成

2.1 ひやり・はっとアンケート調査

2.1.1 調査目的 不安全行動情報データベースを構成する不安全行動事例を収集することを目的として、石油プラントメンテナンス作業者を対象としたひやり・はっとアンケート調査を実施した。本研究開発で必要とする不安全行動に係わる作業者の状態や作業環境のデータ収集は、既存の災害事例にはほとんど残されておらず、新規に統計的に分析するまでのサンプル数を集めるには非常に時間を要する。一方、事故には至らずその数歩手前の状態ともいえるひやり・はっと事象は、事故以上の件数があるものと予想される。これらの理由により、通常の災害報告に必要とされる事故型や起因物、直接原因等の一般的な項目にとどまらず、作業者の体調や焦り等の心理状態、暑さ寒さ、においや作業姿勢等の作業環境などを含めた不安全行動情報を収集するためにひやり・はっとアンケート調査を実施した。

2.1.2 調査概要 石油精製業A社において、目的の異なる2種類のひやり・はっとアンケート調査を実施した。一方は、過去のひやり・はっと体験の内容や体験時の状況（作業内容、場所、時間、個人状態、作業環境等）及び作業員の個人属性についての情報収集を目的とし（以下、調査1）、他方は、作業内容、場所、個人属性、個人状態、作業環境等を、ひやり・はっと体験が発生した場合と発生しなかった場合についての統計比較を目的とした（以下、調査2）。それぞれについて、調査概要をTable 1に示す。

2.1.3 調査結果 アンケート調査結果を以下に記す。

(1) 年齢と経験年数 ひやり・はっと体験者の年齢と経験年数の関係をFig. 1に示す。年齢が高くなると経験年数も長くなる傾向が認められたが、Fig. 2で示すように、55才以上の作業者に着目すると、経験年数が30年以上の作業者が61.5%である一方、10年未満の作業者も12.8%を占めた。昨今の経済情勢や作業員構成の多様化から、建設業等では経験年数の少ない高齢作業者による事故が増加傾向にある¹⁾ことから、この結果は、石油精製業でも今後同様に経験年数の少ない高齢作業者による被災の増加が考えられることを示唆するものである。

(2) 事故型 ひやり・はっと体験の内容を、その延長上と考えられる事故型に基づいて整理・分類したものと、石油精製プラントにおける実際の事故の発生頻度²⁾を比較したものをFig. 3に示す。ひやり・はっとでは、総数259件の内、上位から「飛来・落下」が29.7%、「墜落・転落」が13.1%、「転倒」11.2%と続き、この3種で5割以上を占めた。また、石油精製プラントでは災害発生リスクが高い「高温・低温物との接触」「有害物との接触」³⁾は合計で約1割を占めた。一方、実際の事故では総数222件の内、上位から「墜落・転落」が20.7%、「高温・低温物との接触」が15.8%、「転倒」が13.1%と続いた。実際の事故と比較してひやり・はっとでは、「飛来・落

Table 1 アンケート調査概要
Outline of the Questionnaire Surveys

	調査1	調査2
調査期間	平成14年5月13日～6月4日 平成14年6月12日～8月26日	平成14年5月13日～6月4日 平成14年6月12日～8月26日
調査対象	メンテナンス作業全般従事者	熱交換器作業従事者
調査方法	過去に経験したひやり・はっと体験をアンケート用紙に記入。 (複数回答可)	作業期間中毎日の作業条件及びひやり・はっと体験の有無を記入。 体験した場合はその内容をアンケート用紙に記入。
調査項目	作業員属性(年齢、職種、経験年数) 作業条件(作業内容、作業環境、作業員状態、共同作業者の状態)	作業員属性(年齢、職種、経験年数、ひやり・はっと経験頻度、喫煙習慣、他) 毎日の作業条件(作業内容、作業環境、作業員状態、共同作業者の状態)
回答数	259件	50名より289件

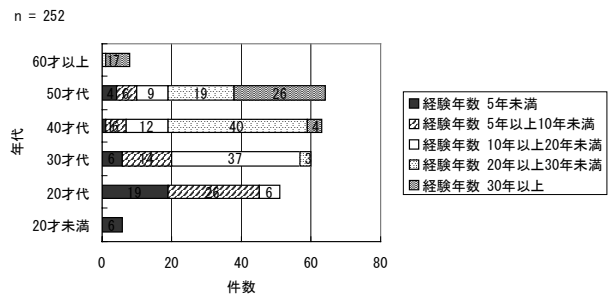


Fig. 1 年齢と経験年数の関係
Age and Years of Experience

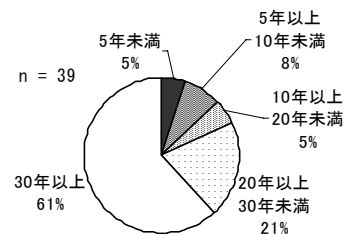
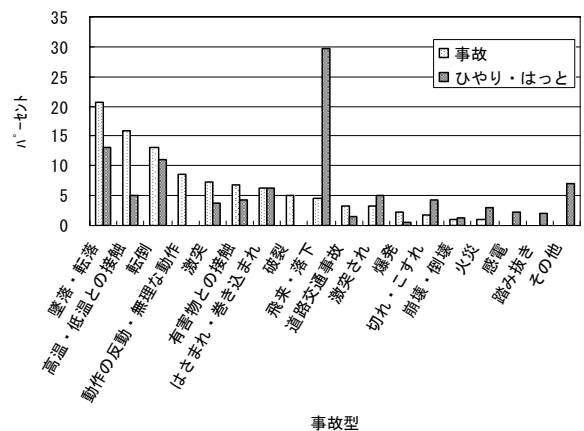


Fig. 2 55才以上作業者の経験年数
Years of Experience of Over 55-Year-Old Workers



事故件数はS57～H11までの合計²⁾

Fig. 3 事故とひやり・はっとの事故型
Type of Accident and Near-Miss

下」型の発生頻度が高いことを除けば、事故型の発生傾向に大きな隔たりは認められなかった。

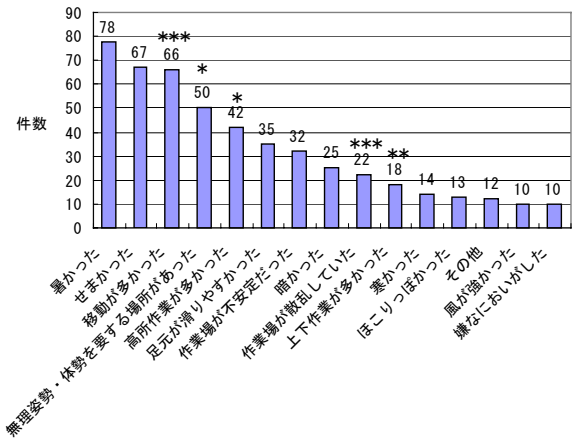
(3) 作業環境 ひやり・はっと体験時の作業環境を Fig. 4に示す。「暑かった」が78件と最も多く、「せまかった」の67件が続いた。「移動が多かった」、「無理な姿勢・体勢を要する場所があった」、「高所作業が多かった」、「作業場が散乱していた」、「上下作業が多かった」という作業環境は、調査2における、ひやり・はっとを体験しなかったグループとの比較検証においても体験者グループに有意に高い割合で選択されており、ひやり・はっと事象との関連が強く示唆された。

次に、作業環境と事故型の関係に着目すると、「転倒」型に該当する事例では、他の事例と比較して、作業者が作業環境を「暑かった」と選択した比率が有意に高かった (Fig. 5)。この結果は、一般にメンテナンス作業は夏季に集中して行われることから、夏場の暑さと転倒の関係を示唆するものと思われる。

(4) 作業員状態 ひやり・はっと体験時の作業員状態は、「急いでいた」が108件と最も多く、「気のゆるみがあった」が101件と続いた (Fig. 6)。これらの状態は、調査2における、ひやり・はっとを体験しなかったグループとの比較検証においても、体験者グループに有意に高い割合で選択されており、作業を急ぐことや気のゆるみによる油断とひやり・はっと事象との関連を強く示唆する結果となった。また、「気のゆるみがあった」は、全体では「急いでいた」より少ないものの、発生時間との関係を見ると、最も多くのひやり・はっとが発生した11時及び14時では、逆転して「気のゆるみがあった」が多かった (Fig. 7, Fig. 8)。このことから、気のゆるみや油断は、午前作業の終盤および15時の休憩前に起こりやすいことも示唆された。

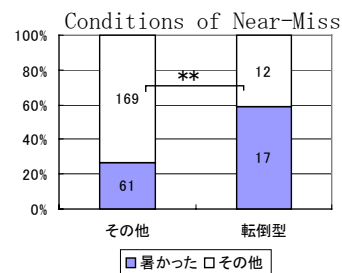
次に、作業員状態と事故型の関係に着目すると、2m以上の高所からの「墜落・転落」型に該当する事例では、その他の事例と比較して、作業者が自身の状態として「寝不足だった」を選択した比率が有意に高かった (Fig. 9)。これは、寝不足による足元のふらつきや注意力の散漫が、「墜落・転落」の発生に関与する可能性を示唆するものである。

(5) 危険度評価 体験したひやり・はっとがどの程度危険であったかを作業員自身が危険度の高い順に「かなり危なかった (事故の一步手前だった)」「少し危なかった」「それほど危なくなかった」の3段階で主観評価を行った結果をFig. 10に示す。全体では中位の「少し危なかった」が50%で最も多かったが、職種との関係では、作業指揮者に「かなり危なかった」と評価した割合が有意に高かった (Fig. 11)。作業指揮者は労働災害防止のための安全教育を定期的を受けており、災害事例や実際の災害に接する機会も多いことから、不安全行動や危険要因に対する意識が高いことに起因するものと思われる。潜在的に重大事故に発展する可能性が考えられた事例



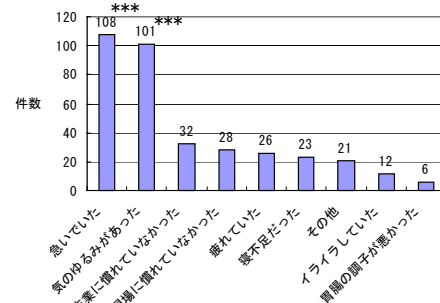
**p<.001, **p<.005, *p<.01: 非体験者との比較 (カイ二乗検定)

Fig. 4 作業環境 (複数回答)



**p<.005 (カイ二乗検定)

Fig. 5 暑さと転倒型体験の関係
Heat and Falling Down



***p<.001: 非体験者との比較 (カイ二乗検定)

Fig. 6 作業員状態 (複数回答)
Workers' State of Near-Miss

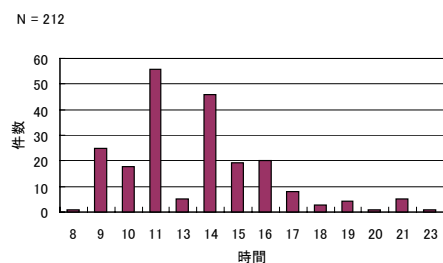


Fig. 7 発生時間

Hour and Number of Near-Miss Cases

に着目する。潜在的に重大事故に発展する可能性のある事例は、B社が労働安全衛生マネジメントシステムにおける危険・有害要因の評価点の算出法において労働災害を死亡の可能性のあるケースとして加対象の一部に定めている、①ひやり・はっと体験の発生場所が2m以上の高所であり、かつ事故型が「墜落・転落」の事例、②作業者の「頭や胸の強打」に結びつく可能性の有無を用いて抽出した。作業者自身による危険度評価との関係では、①②それぞれ該当する事例と該当しない事例について比較検討を行ったが、作業者による危険度評価に有意な差は認められなかった。これは、作業者が経験したひやり・はっと体験が潜在的に重大事故に発展する可能性があったことを作業者自身が認識していなかったことを示唆するものである。

2.1.4 まとめと考察 アンケート調査結果をまとめる。

- 1) ひやり・はっと体験者の年齢の高さと経験年数の長さは比例する傾向がある一方、55才以上の作業者の1割以上は経験年数が10年未満であった。
- 2) 事故型については、実際の事故とひやり・はっとと比較しても発生傾向に大きな隔たりはなかった。
- 3) 「移動が多かった」、「無理な姿勢・体勢を要する場所があった」等の作業環境とひやり・はっと事象との関連が示唆された。
- 4) 夏場の暑さと転倒の関係が示唆された。
- 5) 作業を急ぐことや気のゆるみによる油断とひやり・はっと事象との関連が示唆された。
- 6) 気のゆるみや油断は、午前作業の終盤および15時の休憩前に起こりやすいことが示唆された。
- 7) 寝不足による足元のふらつきや注意力の散漫と、「墜落・転落」の発生の関与が示唆された。
- 8) 実際の災害や事例に接する機会が多い作業指揮者は、ひやり・はっと事象の危険度を重く評価する傾向が認められた。
- 9) ひやり・はっと事象が潜在的に重大事故に発展する危険要因を含んでいても、作業者自身の危険認識度は低いことが示唆された。

いくつかの作業状況がひやり・はっと事象の発生に係わる危険要因として認められ、安全教育システムおよびツールの危険度判定に生かすことが可能であると考えられる。しかし、今回の調査だけではサンプル数が少ないため、これらの知見を実際の安全教育システムおよびツールに展開するためには継続的な調査が必要だと考えられる。また、経験の少ない作業者に対する危険要因や危険箇所に関するより一層の啓蒙・教育が必要だと考えられる。

2.2 不安全行動情報データベース

ひやり・はっとアンケート調査結果および、既存の災害事例を基に不安全行動情報データベースを作成した。不安全行動情報データベースの内容をTable 2に示す。格納されたデータは、3.2節の不安全行動情報分析・提供機

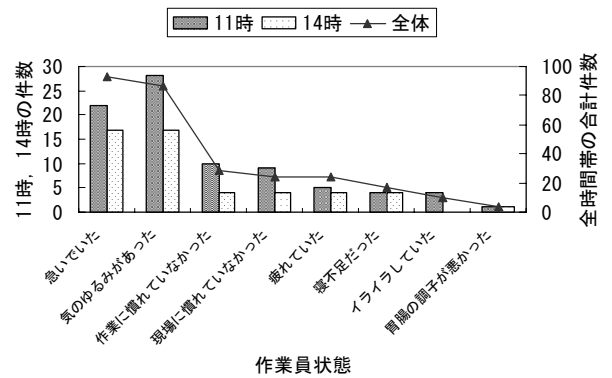
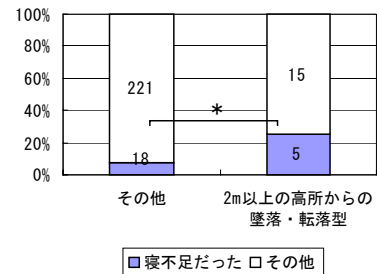


Fig. 8 作業員状態と発生時間の関係
Workers' State and Hour



*p<.05 (カイ二乗検定)

Fig. 9 寝不足と墜落・転倒型体験の関係
Lack of Sleep and Fall from Height

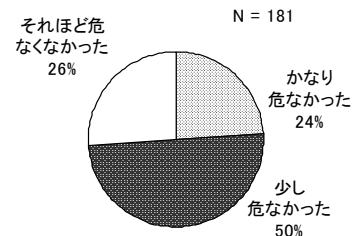
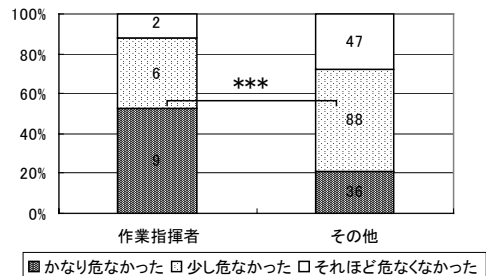


Fig. 10 作業者自身による危険度評価
Hazard Evaluation by Workers of Their Own



***p<.001 (Kruskal Wallis 検定)

Fig. 11 職種と危険度評価の関係
Occupation and Hazard Evaluation

能を介することにより、作業グループや作業員個人の特性に適合した不安全行動情報として作業現場のPDAに提供される。

3. 安全教育支援システム及びツールの開発

3.1 システムの概要

石油精製プラントにおける熱交換器メンテナンス作業を対象とした現場安全活動を支援する安全教育システムおよびツールの開発を目的として、PDAを活用した不安全行動情報分析・提示システムのプロトタイプを作成した。このシステムでは、作業工程、天候、作業員属性(年齢・職種・経験年数)、作業員状態、共同作業者および作業環境を変数とし、各変数の組み合わせに対応して、不安全行動情報データベースから作成されたひやり・はっと生起予測リストデータベースより、当日作業の相対的な危険度を求められるようにした。合わせて、当日作業条件に適合するひやり・はっと事例とその対策を出力することにより、作業員の安全教育に寄与する情報を提供することを可能にした。本システムでは、作業現場への携帯性を高める目的で、パソコン上で条件設定・演算を行い、PDA上で情報提示するものとした。システムの流れをFig. 12に示す。

3.2 不安全行動情報分析・提供機能

3.2.1 生起予測リスト ひやり・はっと生起予測リストとは、作業工程(作業項目)に対応するひやり・はっとの危険要因を、各項目ごとに危険度の高いアイテムからリストアップしたものである。作業の危険度は、ひやり・はっと発生件数を指数化したものを「頻度」、ひやり・はっと1件当たりの重大事故への発展の可能性を指数化したものを「重度」とした。例えば、「年齢」の場合、作業工程Aに対応する頻度リストでは、危険度の高いアイテムから①60才以上、②20才未満、③20才代、…と並び、重度のリストでは、①30才代、②40才代、③20才未満、となる。ひやり・はっと生起予測リストは各作業工程(作業項目)ごとに作成され、データベースとして整備される。

不安全行動情報データベースからひやり・はっと生起予測リストデータベースを作成する手順を述べる。はじめに、不安全行動情報データベース全事例からユーザーにより選択された作業工程(作業項目)に対応する事例を抽出する。次に、生起予測リスト作成対象となる各項目の各アイテムについて、頻度指数と重度指数を算出する。それぞれについて、Table 3の基準でランク付けを行うと共に各項目ごとに降順にアイテムを並び替える。ランクは5段階で構成され、ランク「5」は最も危険度が高いことを意味する。生起予測リストでは、頻度・重度それぞれについて、「年齢」、「天候」、「作業員状態」等の項目別にアイテム、指数、ランクを上位より表示さ

れる。頻度および重度算出方法を以下に記す。

(1) 頻度 ある作業工程・項目・アイテムに適合する事例の数をn, 各事例の当該作業項目への適合度係数を $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ とすると、各アイテムの頻度の得点は次式で計算される。

$$\text{頻度} = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n \quad (1)$$

さらに、各項目ごとにアイテムの頻度得点は次式で標準得点化される。

$$z_i = \frac{X_i - \mu}{\sigma} \quad (2)$$

X : 各アイテムの頻度の得点
μ : 平均
σ : 標準偏差

Table 2 不安全行動情報データベースの内容
Contents of the Unsafe Action Database

大項目	中項目
事象の内容	行動, 結果, 原因, 対策, 起因物, 加害物, 事故型
発生時の状況	工程, 場所, 位置(高さ), 作業内容, 詳細作業内容, 日付, 時間, 天候
作業環境	他者の状況, 暑さ寒さ, 足元の滑りやすさ, 風の強さ, におい, 暗さ, せまさ, ほこりっぽさ, 無理姿勢, 作業場の不安定さ, 移動の多さ, 上下作業, 高所作業, 作業場の散乱具合, 安全管理上の問題, 共同作業者の状況
個人属性	職種, 年齢, 経験年数, 入場後日数, 喫煙の有無, 暑さ寒さへの感受性, 高所恐怖, 忍耐強さ, 集中力, 性格, 運動神経, ひやりはっとの経験頻度
個人の状態	体調, 疲労, 作業への慣れ, 現場への慣れ, 集中度, 焦り
事象の重度	ひやり・はっとの程度, 重大事故への発展の可能性

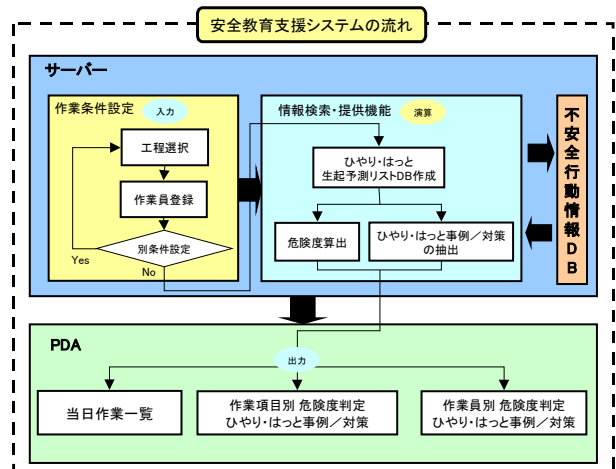


Fig. 12 システムの流れ
System Flow

Table 3 ランク付け基準
Criteria of the Hazard Rank

標準得点	ランク
$1.5 \leq z$	5
$0.5 \leq z < 1.5$	4
$-0.5 \leq z < 0.5$	3
$-1.5 \leq z < -0.5$	2
$z < -1.5$	1

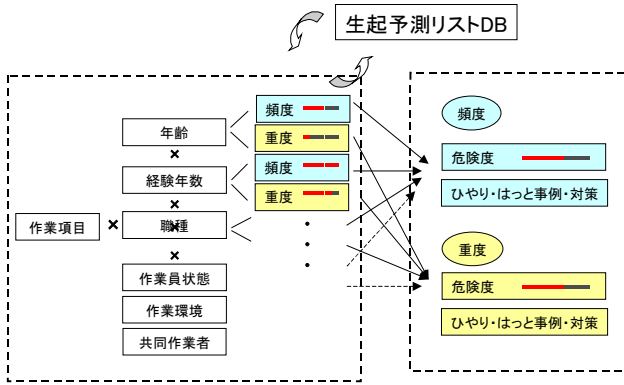


Fig. 13 当日作業の危険度算出イメージ図
Image of the Way of Hazard Ranking

(2) 重度 ある作業工程・項目・アイテムに適合する事例の数を n ，各事例の当該作業項目への適合度係数を $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ ，各事例の重大事故への発展可能性係数を $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ とすると，各アイテムの重度の得点は次式で計算される。但し，重大事故への発展可能性係数は，「ひやり・はっとの程度」，「頭・胸の強打の可能性」，「2m以上の高所からの墜落・転落の可能性」により決定される。

$$\text{重度} = \frac{a_1 \cdot w_1 + a_2 \cdot w_2 + a_3 \cdot w_3 + \dots + a_n \cdot w_n}{n} \quad (3)$$

さらに，各項目ごとにアイテムの重度得点は，頻度と同様の方法で標準得点化される。

3.2.2 危険度判定 当日作業の危険度算出方法のイメージ図をFig. 13に示す。当日作業の危険度は，作業工程，天候，作業員属性(年齢・職種・経験年数)，作業員状態，共同作業および作業環境の各項目について，当日作業条件として選択された各アイテムの頻度と重度を生起予測リストDBより抽出し，頻度・重度それぞれについて平均値を算出する。そして，Table 3の基準で5段階のランク付けを行う。ランク「5」は最も危険度が高いことを意味する。

3.3 PDAを活用した不安全行動情報分析・提示システム

3.3.1 利用方法

- プロトタイプの利用方法を記す。
- 1) 作業監督もしくはオペレータは，作業開始前にパソコン上で，各作業員について作業環境条件(天候，年齢，経験年数，職種，作業環境，作業員状態，共同作業の状態)を設定する。併せて，作業対象となる熱交換器ごとに，当日作業項目を設定する。
 - 2) パソコン上での設定後，演算が終了したら出力結果をPDAに移行する。
 - 3) 作業監督は作業前KY活動において，PDAに出力される当日の最も危険な作業項目や，作業員について説明を行う(Fig. 14参照)。また，各作業員に各人の条件にも最も適合する危険要因やひやり・はっ

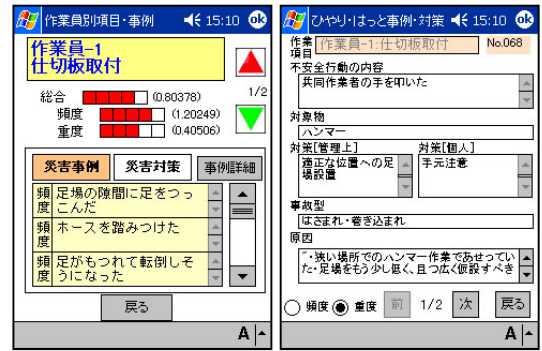


Fig. 14 PDA画面例
Examples of the Output



Fig. 15 PDAを用いた現場KY活動風景
Before-Work Safety Activities with PDA

と事例・対策を提示し，注意を喚起する。(Fig. 15参照)

3.3.2 今後の課題 今後は，不安全行動情報データベースを拡充すると共に，不安全行動情報分析・提示計画の高度化を図る。また，PDAに新規ひやり・はっと事例収集のための情報蓄積機能を付加する等システムの改良を進める。そして，実証実験を通して現場安全活動における安全教育支援システムの効果の検証を行う予定である。

謝辞

本研究開発は経済産業省の産業科学技術研究開発プロジェクト「人間行動適合型生活環境創出システム技術」として，新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託を受けて，社団法人人間生活工学研究センター(HQL)が実施したものです。関係各位に深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 平成12年度人間行動適合型生活環境創出システム技術成果報告書：新エネルギー・産業技術総合開発機構(社)人間生活工学センター，平成13年3月
- 2) 製油所における労働災害事例集 第9集(平成10～11年)：石油連盟 労働安全部会，平成13年4月
- 3) 安全衛生年鑑：中央労働災害防止協会