

事故事例から獲得した知識オントロジーを用いたプラント内 パトロール支援システムの開発のための検討

箕輪 弘嗣^{1,a)} 横井 優樹

概要：近年、危険物施設における火災及び流出事故の合計件数は、2007年をピークとし、その後も高い水準で推移している。また、1989年以降を、事故が最も少なかった1994年と比べると、危険物施設数は減少しているにもかかわらず、事故件数は約2倍に増加しており対策を要している。筆者らはパトロールに防止の可能性を考え、火災、流出に関して石油・石化に関する事故事例集であるPEC-SAFER423件を調べてみたところ、パトロールで異常を発見した事例は29件と約1割弱もあった。

パトロールは事故防止/最小化の役割を果たしてきたが、パトロールの方法、基準は事業所毎に設けられ実施方法は異なる。作業手順書を設けている事業所もあれば、OJTで鍛えたパトロール者の自主性で運用する場合もある。

各事業所は独自の管理・運営がなされており、パトロールの公的監督者もないため、パトロールのレベルの統一化ができていない恐れがある。そのため、パトロールの質を明確、担保できれば、質が向上し、事故の初動を見逃さない事に繋がると考えた。

そこで本研究では、事故事例に基づきパトロールの実施手順書の半自動生成、および、その手順書に沿ってパトロールを支援するHIシステムについて提案する。本システムにより、パトロール実施を記録、可視化でき、パトロールの質を担保する事ができる。これは、手順が不明確によるチェック漏れといったヒューマンエラーを防止し、かつ、経営的に安全実施のコンプライアンス遵守を明確化する事ができる。

キーワード：HI (Human Interface), Ontology, Wearable PC, Checklist, Accident, Report Analysis, MIMAMORI-solution

Development of in-plant patrol support system using knowledge based ontology acquired from accident cases

1. 緒言

近年、危険物施設における火災及び流出事故の合計件数は2007年が最も多く、その後も高い水準で推移 [1] しており、安全な土壌ができていないと言いき難い。

事故防止の手段の1つとしてパトロールがある。パトロールは多重独立防護層の概念において、パトロールは”プロセス・装置や制御システムの状態監視をおこない、異常が発見されたときに運転員に介入を求めて正常運転に戻す役割を担っている” [2] という第3層に該当するといえる安全工学上の保安維持における重要な対策手段である。通

常業務において行われたタスクに対して不備や問題がないかを確認するという対策という特徴を持ち、時間経過と共にしか露呈されない異常には、パトロールでなければ発見できない特性をもつ重要な対策である。

しかし、パトロールの手順に従って厳密に実施している事業所は限られている可能性がある。筆者が携わった研究 [3,4] では、製品の品質といった生産における変更管理は実施していても、安全面の変更管理を実施している企業は限られているようである。費用対効果や経営における効率化の要求は丁度トレードオフの関係にあり、安全面での手順、基準の厳格化は難しさが垣間見える。安全を確保するための汎用的な手法が確立されていない問題もあった。また、手順書はあっても、手順書の通りパトロールできているのか評価は目がとどかず難しい。近年は以前に比べ人

¹ 岡山商科大学
Tsushimanaka 2-10-1, Okayama, Okayama, 700-0087, Japan
^{a)} minowa ●▲■ po.osu.ac.jp(●▲■を@へ置換して下さい)

為的リソースが足りない事業所もある事が聞こえており、厳密なパトロールは負担になる恐れがある。しかし、過去の事例で再発している事故の種類は、いずれも起きやすい状況にある。また、重要な設備保護の観点からも、管理の行き届くべき重要設備も一通りにまとめられている可能性がある。経営・運営上より正確にパトロールを履行して欲しいニーズは潜在していると考えられる。

パトロールにおける異常発見を調べたみたところ、火災、流出に関して石油・石化系の事例集である PEC-SAFER [5] の 423 件中、パトロールによって異常の発見を起点とした事例は 29 件あった。PEC-SAFER の選定基準が非公開ではあるが、緒言で述べた様にパトロール中に発見した異常は約 1 割弱あった。それだけパトロールが異常の早期発見に貢献してきた可能性が高い。

筆者はこれら事例データを基にした根拠ある支援ができないかと考えた。その背景には、パトロールには汎用的な手順書の作成が困難である問題がある。それは事業所によって手順、基準、対象の構造が異なる事が原因に上げられ、いずれの事業所にも対応できる手順書を作ると公約数のように内容は小さくなり、抽象的な内容となってしまう。

そのため、事業所毎にチェックリストを設ける必要がある。しかし、手順作成者は (1) 沢山の基準を理解しなければ、手順書へ内容を起こせない。(2) チェックポイントの詰めが甘いと、冗長な文となり読みにくい。(3) 文章化してしまうと、遊びがなくなり、手順書の変更と共に該当箇所全ての変更が生じてしまう。結果、費用効果のトレードオフにより実現は難しい、といった問題が潜在する。そこで、事故の再発防止を目標としたソリューションとして、負担を抑えたまま、パトロールの質を向上させるパトロール支援 HI システムを提案する。本システムは、事例データより支援に必要な情報を抽出し DB 化、その DB の知識に基づいてウェアラブル PC がパトロールを支援する。本研究の特徴は、チェックリストの半自動生成、作成したデータの再利用といった負担軽減が組み込まれている点、また、パトロールにおける確認箇所の位置明示、確認記録などを支援する事で、確認ミスを減らし、システム内に作業内容を記録する事によって、確認実施の有無を保証できる事はコンプライアンス的な保安活動の健全性の証明に繋がる利点がある (改ざんの危険性は本論文では議論の対象としない。しかし、例えば、本システムが第三者による管理・提供であれば改ざんは容易ではない)。システムによるパトロールの支援、および、チェック記録を ICT システム上でとり、実施記録を担保した正確なパトロールの実現を支援する。

本文中では、パトロールで確認すべき箇所をチェックポイント、チェックリストに基づき安全を確認する事をクリアと呼ぶとする。また、パトロールする者を巡回者と呼ぶとする。

2. 関連研究

今までも安全学における様々な Human Interface(以下 HI) システムが研究されてきた。それらは主にエキスパートの知識を基にした支援の実現手段 [6,7] であったり、目的のための情報共有の手段 [8] であった。本研究では、再発防止を目的として過去の事例データを基にしたパトロール支援 HI システムである。

本システムは、過去の事例に基づき抽出した要確認箇所を HI システムで支援し、確認の有無の可視化、記録化で、チェックを確実にするシステムである。本システムより、(1) 確認実施の担保、(2) コンプラ妥当性を得られるが、安全には直接作用していない、といった問題がある。しかし、本システムが安全に寄与すると考えるのは、現状ヒューマンエラーの多さの問題があるからである。医療事故における情報収集事業の報告 [9] では、事故の発生要因の上位は確認不足 (14.5%)、観察不足 (13.7%)、判断誤り (13.6%) の計 41.8% であり、医療においてもヒューマンエラーが要因の大半を締めている。このヒューマンエラーの内容は些細なエラーであるが、それが頻発している状況にある。これらエラーをシステムがサポートできるように知識を蓄え、高度化した HI システムを開発していく事で、エラーを防げる可能性がある。もちろん、新しいインタフェースは、別のエラーの誘発や効率を低下を招く恐れもある。しかし、高度化しつつけられているシステムに対し、人間の基本能力は、遺伝子操作でも実現しない限り、大きな向上は期待できない。そのため、システムを使いこなせる教育が最小となるように HI システムと人間がシームレスに繋がるよう認知齟齬の解明、UI の改良をしていく道を選ぶ方が持続性に繋がる可能性が高いと考える。また、こういった支援システムが必要である事を示している社会的な取り組みがある。経済産業省 [10] は合同パトロールを保安力要件に盛り込み強化を促している。狙いは、複数の部署の知識の共有、強化を意図している事が伺える。しかし、合同パトロールとなると連携先の存在、調整が必要な問題がある。本システムが、その知識共有先の不在に対して代替するといった問題解決に一役買える可能性がある。

本研究では、チェックリストに準じたパトロールの実現を支援する物であるが、そのチェックリスト生成のためにオントロジーを用いる。オントロジーを簡潔に述べると概念辞書である。この概念辞書は AI に意味を理解させるという手段として注目されており、安全工学に属するオントロジーに関する研究がなされてきた。Elhdad [11] らは、石油プラントのシャットダウンプロセスの原因と結果を監視する目的で、石油プラントの論理構造と運用を定義するフレームワークを設計した。石川 [12] らはタスク、ドメインに基づくオントロジー構築の方法などを提案している。こ

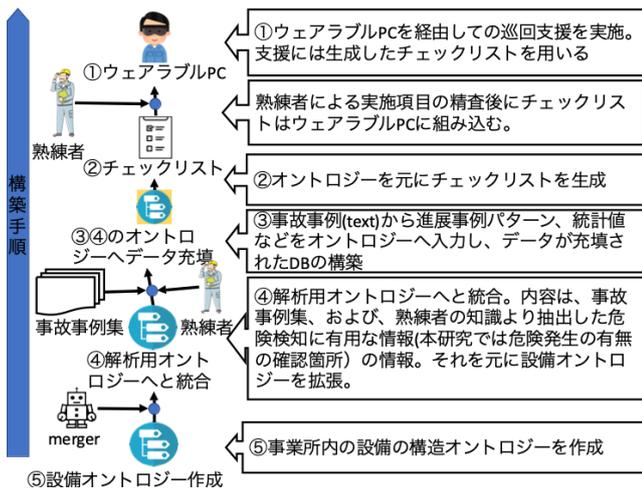


図 1 支援情報ベース構築の流れ

の様に安全やプラントのメンテナンスに事例データ、オントロジーを用いた研究は様々なされている [13,14] が、パトロール支援オントロジーとその支援のためのシステムに注力した研究は例がない。これだけオントロジーを用いた研究がなされてきているが、経産省が掲げるスマート保安 [15] の実現には AI, CV, IoT, ドローンに限られている。今後、事業所に応じた支援の実現には、こういった事例を用いた支援が有用性を示すだろう。また、チェックリストを生成、記録、利用負担を軽減する ICT システムの研究例 [16,17] は少ない。しかし、チェックリストは様々な研究例があり、負担軽減、技術向上、経営的コンプライアンスも含め有益な方法である。そのため、チェックリストの問題を解決方法により経営的負担を減らし、安全ヘルソースを分配できる事で、安全に寄与できる可能性がある。

3. 研究内容

3.1 事例データを活用した支援方法の検討の意義

事故事例を基にした支援理由について説明する。類似した事故が発生して点に着目し、類似事故の検出が実現できれば、未然に事故の再発を期待できるからである [18]。PEC-SAFER 集の 423 件においては起因事象は 8 グループに人的に分類される事が明らかになっている [19]。設備に関して言えば、破損、劣化、腐食が多く、それらがいつ、どこで起きるか分かれば未然に防止できる可能性がある。そのため、本研究では事例より抽出した知見を基に支援する仕組みを提案し、事例駆動的な支援方法の有用性を明らかにする狙いがある。

本研究では図 1 のシステムを提案する。その構成理由は、本節以降の本章内で後述する。次に図 1 の②～⑤の事例データからチェックリストを生成する手順案については 4 章、①の HMD 作成案を 5 章にて各々説明する。

3.2 パトロール支援システム実現による危機回避実現の可能性

本研究において提案するパトロール支援システムは事故事例データから、オントロジーやチェックリストの構造化をしていく分けであるが、そのシステムの利点、特徴について説明する。

- (1) チェックリストに基づく支援: 安全は手間がかけられない不備で起きる。その不備を防止するにはチェックリストの生成、その確認有無のチェックなどの管理負担がかかるが、それをシステムが補う事で、安全化の土台の構築へ繋がる。
- (2) 事例数の増加に伴う統計的に知見の恩恵: 事例数が増えてくると、過去にどういった事例、設備、また、その部位で事故が起きるか情報が蓄積される。その統計的情報を基に事故や危険があった対象を注意深く確認する事で事故を減らせる。
- (3) 定期検査不備の事故の回避: PEC-SAFER 内に静止機器の腐食・劣化・破損は 423 件中 158 件あった。ドレン配管のチェック日を記録するようオントロジーを拡張し、パトロール時に確認する事で、肉薄している事をいち早く察知して対応できる可能性がある。他にも、ガス保安上、メータ点検を実施していたが、記録してしなかったため、長期に渡る対象の減少に気づかずタンク破損というのがあった。時間と共に風化しチェックがおろそかになる事による事故を防げる可能性がある。
- (4) 理解促進による安全性向上: 報告書に記載された原因、結果、教訓といった一連の進展を示し、追体験する事によって巡回者の支援力の向上が見込める。異常時にはフィールドマンが対応するのが当然であり、怪訝に思われる方もいるかもしれない。しかし、OJT みたいなもので合同パトロールにあったような知識共有の OJT の代わりになり、結果的に巡回者の発見能力の向上が期待できる。パトロールによる発見が解決の起点であり、この起点の強化が被害最小化に繋がると期待できる。
- (5) 媒体反応の反応を加味する事による事前防止: 化学反応による引火は事故要件でも多数確認できる。オントロジーにおいて巡回対象の設備で使用される化学物質、媒質、媒体の情報をシステムが保持する事によって考慮した危険情報の通知が可能となる。

3.3 チェックリストの問題と解決への論理

パトロール支援の実現において、本研究ではパトロール指示の提示、および、記録にチェックリストを用いる。

チェックリストを用いる場面は様々あり、チェックリストを用いた作業手順の研究やその成果の公開がなされている。チェックリストの利点は、要求、要件、仕様における確認といった実施の必要性の有無を明確にする方法として最適といえるからであると考えている。一方、チェックリストにおける弊害もある。それは、作業員が考える必要がなく、作業員の思考と、それに基づく柔軟な対応を奪う点。チェックリストの定義の粒度次第でチェック作業が上乘せされ、負担が増える点。指示を的確にしようと定めたリストは使うには的確でよいが、手順変更における修正負担が大きくなってしまふ事が挙げられる。チェックリストを用いたパトロール支援の実施に関する問題の考察の詳細を List 1 に示す。

List 1 チェックリスト実施の課題

I. チェックリストの「生成・管理」に関する問題

- (1) 負担からリストの管理・作成の忌避
チェックリストを使用する条件が一致しておらず、自事業所にあったものを作り直す転用リストの作成負担を含む
- (2) 的確なチェックリスト作成の難しさ
- (3) 作業員が理解でき、かつ誤解が無いチェックリスト作成の難しさ

II. チェックリストの「履行」に関する問題

- (1) 負担 / 慣れからチェックの忌避・未遵守
- (2) チェックすべき箇所をチェックの有無、チェック抜けの有無
- (3) チェックは管理者の意図通りに実施されているかの是非
チェック方法の見落とし・間違いは無いのかの是非
- (4) チェック履歴の記録・管理の履行
劣化、減肉、値の変化、使用年数の記録の記録漏れ、記録後の解析漏れで防げる事故があるが、負担を避けて実施しない事で見逃す恐れがある。
- (5) チェックリストに応えられる能力保有の有無
チェックリストは総じて説明が短い。その説明の背景まで読み取った行動ができるか否かでパトロールのパフォーマンスに差異が生じる恐れがある。

List 1 においてチェックリストの生成の半自動化により負担を軽減でき List 1-(1) を解消できるだろう。また、パトロールの支援システムにより、II-(1),(2) はパトロールの実施履歴に基づき実施の有無を保証でき、支援システムを通じて (3),(4) の支援できると考える。

4. チェックリストの生成

本章では、チェックリストの生成方法を説明する。4.1 節での調査で、パトロールの実施には、表 1 の情報が有用

と結論づけた。本章では、事例データから表 1 にある情報の抽出方法について検討結果を報告する。

4.1 チェックリストの生成に必要な情報

本説では、後述するパトロール支援システムへと繋がる事を要件として、チェックリストの作り方について論じ、方向性を決定するために実施した調査について説明する。

事件事例から抽出できるメタデータを基に、確認支援の実現に繋がるように項目を抜き出した結果は表 1 の通り抽出すると結論づけた。

表 1 解析オントロジーの生成のために設備オントロジーに merge すべき項目/特徴量

Name	抽出意図/説明	分類
事例 No	データ元を確認用	M
異常発生部位	パトロールで確認すべき部位	R
設備名	自事業所との設備と関連付けるために用いる。極力抽出したい	U
発見方法	何を確認すべきかを記す	U
原因	[発見方法] と合わせてチェックリストで確認できる事で「何を確認すべきかを記す」	U
対処方法	早急な対処のため有用、事例集に記載ない事や適用しない事もあるので熟練者と相談で埋める	U
発生事故	過去の事件事例から対処方法や経緯を経験則から読み取り早期対処に繋がる	U
優先度	チェックの優先順位による確認の強さの意識付けに用いる。事例データだけでなく、発見の難しさなど考慮すべきなど指標が多数ゆえ本論文では言及しない	M
損害額	対処優先度の決定に有用である [20]	U
修理費	優先度算出のための特徴量。損害額とは別に記録	U
耐用期間	優先度算出のための特徴量。耐用年数。	U

表 1 の各項目の抽出理由は「抽出意図/説明」の欄に記載した。抽出意図/理由は 3 種類あり、U(=Useful), R(=Requirement), M(=Meta) と分け列分類に記載した。

列分類の U は、チェックリスト生成には必須ではないが、チェックポイント確認に有用であるだろう情報である。確認指示と合わせて読む事ができれば、確認意図の理解が進み確認精度の向上が期待できる。

列分類の R は、Checklist 生成に必用なフィールドである。例えば、異常発生箇所は、パトロールにおける発見が必用な箇所であるのは言うまでもない。異常発生は、異常発生箇所の名称が一致するの応じて全ての箇所が発生するわけではない。その発生し得る条件を抽出する。その絞り込みの条件の一つになりえそうである“設備名”も抽出対象とした。

列分類の M は、上記いづれにも該当しないが仕組み上、

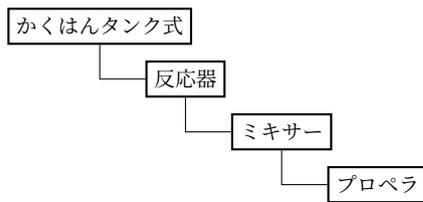


図 2 攪拌装置の構造オントロジー (設備オントロジーのパーツ)

必要なフィールドである。

4.2 知識 DB としてのオントロジー

パトロールを支援するための知識 DB として、オントロジーを採用する。オントロジーであれば、情報の構成をもたせられ、再利用しやすい。3.2 節にパトロールオントロジーとして構築したのを図 3 に示す。

オントロジーの主構造は o-1 part-of: 全体-部分の関係、o-2 is-a: 上位-下位の関係、o-3 attribute-of: 属性の関係、などがある。そのオントロジーは part-of で構造を記述する。攪拌式タンクには、内部に反応器、その中に攪拌用ミキサー、そのミキサー部にはプロペラがついており、攪拌される。

図 3 は設備オントロジーに、表 1 のテンプレートを加えた解析用オントロジーの形を示している。"a/o" は "attribute-of" の略、"p/o" は "part-of" の略である。root 直下の "p/o" より部品の内包関係を無限に記述可能であるとする。各部品には、部品名、耐用期間、事故と組成の入力欄がある。事故欄には損害額を属性と有する。ノードの上の記載は役割、仕様 [21] を意味し、本論文では構造的な役割を示す。ノードの右の四角には、データ型や構造の雛形であり、意図したデータ入力を促す制約である。制約があるため別のデータ・ストレージから入力値を参照でき、誤ったデータ入力を防止する事ができる。入力はクラス (例:int, 事故) に沿うか、そのクラスに含まれた値の入力に限定される。

型番や部品の型番が明らかなら、その部位オントロジーは再利用が可能となる。ロールにおける事故は 3.2 節の (4) で述べたパトロール者の事業所の事故傾向を理解し、対処できるための情報格納である。

設備オントロジーに追加したに関しては次の通り説明する。

- (1) 設備構造 (part-of) 情報: 設備の構造を階層的に記述する。この記述を基に事例データでの異常と自設備の異常を結びつけ、チェックリストにおける見回り箇所を導出する。攪拌タンク式の設備オントロジーを図 2 に示す。子ノードは上位の要素を構成する部品を表し、構造に応じた階層構造になっている。
- (2) 耐用期間: 設備の耐用期間を保持する事で、減肉からの破損、漏洩といった事故の未然防止を期待できる。耐用期間と交換日から交換予定日を記載できる。耐用

年数も規定通り進むとは限らないため、パトロール時に交換期間が近い対象を直に確認した劣化速度に応じて交換できる。

- (3) 条件: 複合的な条件の元で発生する事故がある。そういった事故へ拡張を実現する事で、より支援に繋がる判断材料を提供できる可能性がある。
- (4) 構成物/内容物: 構成物/内容物は、対象物を構成する素材や内包物を示す。単独、もしくは、前述の条件と合わせて、複合的に発生する事故を特定するのに用いる事ができる可能性がある。

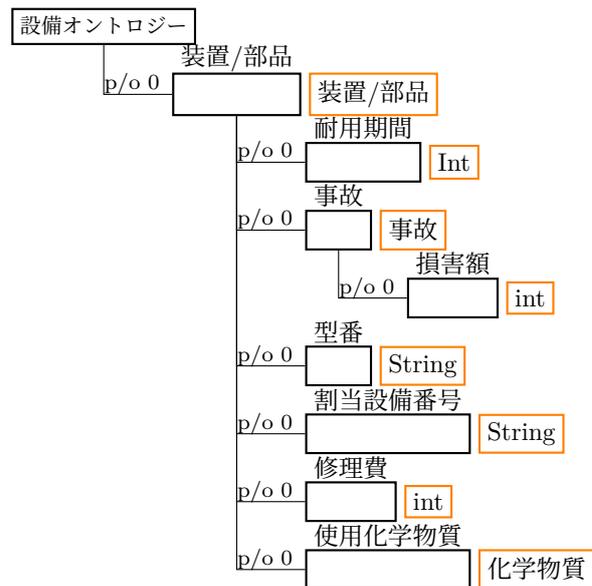


図 3 解析用オントロジー

4.3 抽出手順

抽出手順を下記に示す。また、生成したチェックリスト例を表 3 に示す。

- Step 1 対象の自事業所にある設備オントロジーの作成
 - 自事業所の設備のオントロジーを次の手順で作成する。
 - Step 1-1 対象事業所にある設備名を書き出す。
 - Step 1-2 抽出した設備に含まれている部位を part-of の関係を内包したオントロジーを作成する。
- Step 2 過去事例からの抽出 過去の事例から、表 1 に記したチェックリスト生成に必要な項目を抽出する。抽出結果を集めたのをパトロール事例 DB と呼称し、その結果を Table2 に示す。

表 2 の列 No. は PEC-SAFER の事例番号を指す。異常発生部位の抽出は、タンクといった比較的大きな粒度でも、タンクに比べて比較的小さな粒度であるフランジでもどちらでもよい。なぜなら、後述の設備オントロジーは、そ

表 2 PEC-SAFER からチェックリスト生成に必要な項目の抽出結果

No.	異常発生箇所・部位	分類	事故内容	原因	損害
7	保温材板金繋ぎ目	異臭	パトロール最中油臭に気づき腐食にを発見、作業中に火花により火災	板金腐食	498 万円
9	タンク	目視	ドレン管内面腐食による原油漏れ、パトロール目視で発見	タンク腐食	原油 50L
187	ガソリン塔上部マンホール	目視	ガソリン塔上部マンホールより黒煙と火災を発見	スチレン等の重合物の蓄積、インデン芳香族系不飽和重合物が生成、空気に触れ発火	ガソリン塔一部変形
251	出口配管まげ加工部	異臭	水素化反応装置パイロットプラントにて異臭	反応器出口配管曲げ加工部の応力腐食割れ	なし
355	屋外タンク貯蔵所付帯の伸縮継手	目視	屋外タンク貯蔵所のタンクの付属配管に設置されている 20 インチのユニバーサル式ベローズ型伸縮管継手が腐食し灯油が漏洩しているのを発見	孔食が発生し、灯油が漏洩	灯油少量約 10L
400	接触水素化処理装置の反応器	異音	現場パトロール中の運転員がシューという漏洩音を聞いた数秒後火災が発生	反応器の圧力計に通じる配管が何らかの不具合	€12,680,000

の粒度別における情報（設備名>部位名 1>部位名 2...）を持っており、設備オントロジーの方で探索できれば、本手法は適用できる特徴がある。

ステム全容を説明し、理解を促した後に操作について説明する。

Step 3 チェックリスト草案の生成

Step 3-1 設備オントロジー内に、パトロール事例 DB で抽出した設備名、部位名と一致する要素を検索する。

Step 3-2 一致する項目が含まれていれば、チェックリストに書き出す。

Step 3-3 優先度指標として類似度の測定

設備オントロジーにおいて、「設備」名までのポップ数を算出、一致度としてチェックリスト草案の該当項目へ転記する。

Step 4 専門家による精査

Step 3 で生成されたリストには、結果的にパトロール事例 DB に記載された該当設備の異常発生箇所がチェックリストに組み込まれ、チェック項目が膨大となる可能性がある。その中には、優先度や一致度が低い項目や、条件を突き詰めると発生しない異常も存在する。そういった項目は、専門家によって削除する。

チェックリストの作成負担と同等である懸念されるかもしれないが、チェック項目を作成するのに比べ、存在するチェック項目から削除する方が手間や負担は低いので、パトロール事例 DB や設備オントロジーといった基礎データから自動でリストを作成できるので負担軽減に繋がっているだろう。

5. 支援伝達のためのウェアラブル PC の形

本章では、前章で作成したチェックリストを用いた支援 HI システムについて説明する。システムの説明を行い、シ

5.1 支援システムのあり方の検討

異常の発見手段を PEC-SAFER 事故事例集 [5] から抽出したところ、視認（視覚）、異臭確認（嗅覚）、異音確認（聴覚）の 3 種類であった。その内訳は視認による発見が 83%、嗅覚による発見が 3%、聴覚に依る発見が 2% であり、視認による異常発見数の割合が高い事がわかった。加えて、異臭や異音は原因箇所から広がるため、近くを通過する事で感知できるが、異常発生箇所を視覚的に捉えるには、必ず視認する必要がある。そのため、本研究は目視での確認を支援する事に絞った支援システムの確立を目指すことにした。

目視での確認を実現するデバイスを手段として用いた支援方法について検討し、比較結果である表 4 に基づいて説明する。

チェックポイントの通過の確認や自動記録の実現には、Bluetooth ビーコンや RFID が便利は近接非接触読み取りなので利便性が高い。RFID は正確で、速度早いですが、接近が必要で、目視できるが距離がある場合使えない事がある。Bluetooth ビーコンは、Bluetooth が使えればよく、専用の端末が不要であり、共に低電圧で運用できる。

ただし、これらのデバイスは近接非接触読み取り方式なので、チェックポイントを目視せずとも確認済みになってしまい、これでは目視で確認したかどうかわからない問題がある。また、仕様上、数 m の距離に通信できるが、長期運用できる Passive type は数 10cm 弱の通信距離である。これでは、高い箇所にある配管のクリアするには届かない問題がある。

結論として、チェックポイントの確認には QR コード

表 3 Image of Checklist

#	設備名/FID	チェック対象/PID	手段	1	備考
1	循環器 (#AAA-112)	(#AAA-112 の)PID-4 のフランジ	目視	4	※オントロジーに含まれる特徴の多さなどを考慮して定量モデル化
2	反応器 (#AAA-213)	(#AAA-213 の)PID-5 の設置台	目視	2	床下付近への漏洩を要確認

表 4 視線確認用に検討したデバイス

デバイス	指向性	所要時間	精度	距離
RFID (Passive)	low	早い	正確	数 cm~数 m
Bluetooth Beacon	low	早い	正確	数~十数 cm
2D barcode (QR)*1	high	遅い	比較的正確	数 cm~数 m

を手段として採用する事にした。QR コードは Bluetooth ビーコンや RFID とは異なり、チェックポイントをカメラで目視しなければクリアはできず、確認の担保を取れる。また、数メートル先まで確認できる汎用性がある。暗闇だと QR コードをカメラが捉えられない恐れがある。しかし、懐中電灯といった灯りを照射し、QR コードは見えない。見えたという事は巡回員が注意して、その箇所を目視した事になるため、QR コードをチェックしたと言え、QR コードによるクリア確認方法が要求に対して適切であると判断した。

5.2 実装システム概要

5.1 節に示した本システムの概略を図 4 に示す。

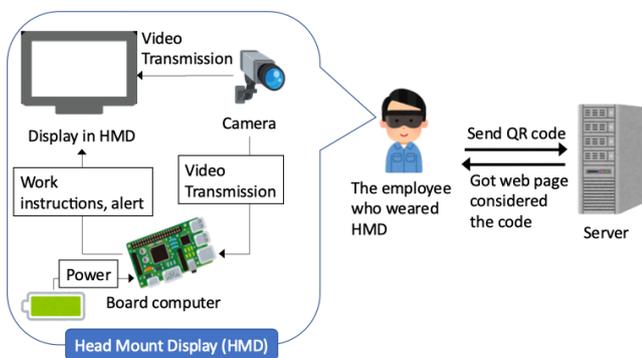


図 4 HMD System architecture

本システムを利用したパトロールの仕方について説明する。チェックリストに掲載している箇所には QR コードを貼り付けており、パトロール要員がその QR を視認する際、装備した HMD カメラの視線先に QR コードを捉える。すると HMD の PC が解析した QR コードを HTTP プロトコルの Get メソッドで、サーバに送信する。サーバは、受信した QR コードに該当するチェックポイントをチェックリストから探し、一致したチェックポイントはチェック済とする。サーバは QR コードの一致可否に応じて更新 Web ページを HMD へ返信する。HMD で受信して該当チェックリストが受信できたか確認できる。

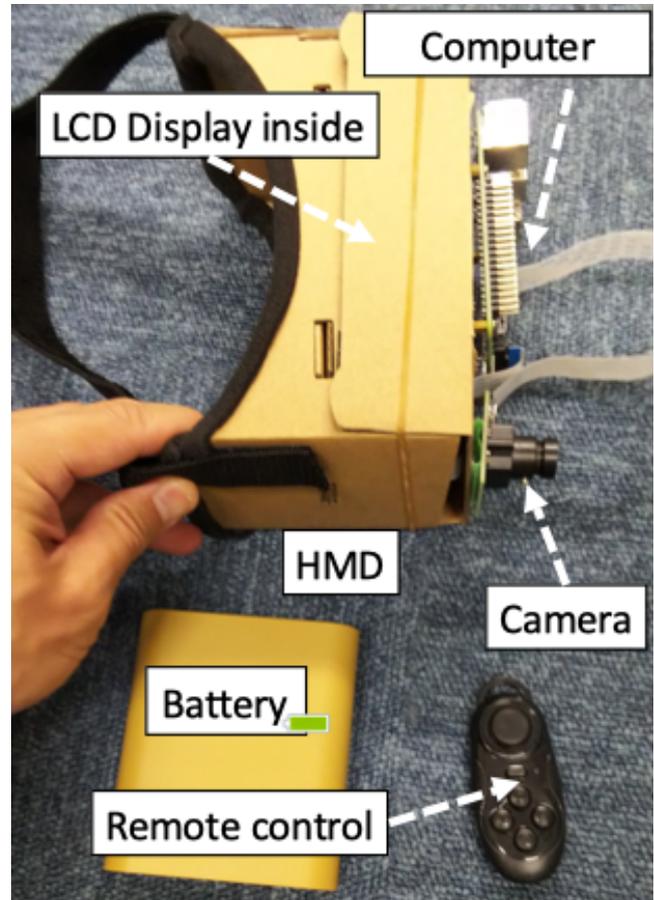


図 5 開発した HMD 実機

本システムの HMD は図 5 に示す。コンピュータには RaspberryPi Model 3B+ を使い、カメラと HMD 内にディスプレイを備えた。

図 5 でも示した通り本 HMD は非透過型である。非透過型は透過型に比べ大変安価に製造できる利点があり、導入の敷居を下げる事ができる。問題は非透過型では外部の映像を見る事ができない。そのため、操作デバイスを使って、外部映像とチェックリストといった表示を切り替える必要がある。

本システムの動作詳細を図 6 に示す。

5.2.1 操作方法

図 4 でも示した通り本 HMD は非透過型である。外部映像を得るカメラモードとチェックリストの表示、および、View の移動のためには、Bluetooth リモコンを用いる事を考えている。

それは、従来の PC の操作方法はマウス、キーボードはもちろん、ウェアラブル PC では操作に適さない。近年、スマ

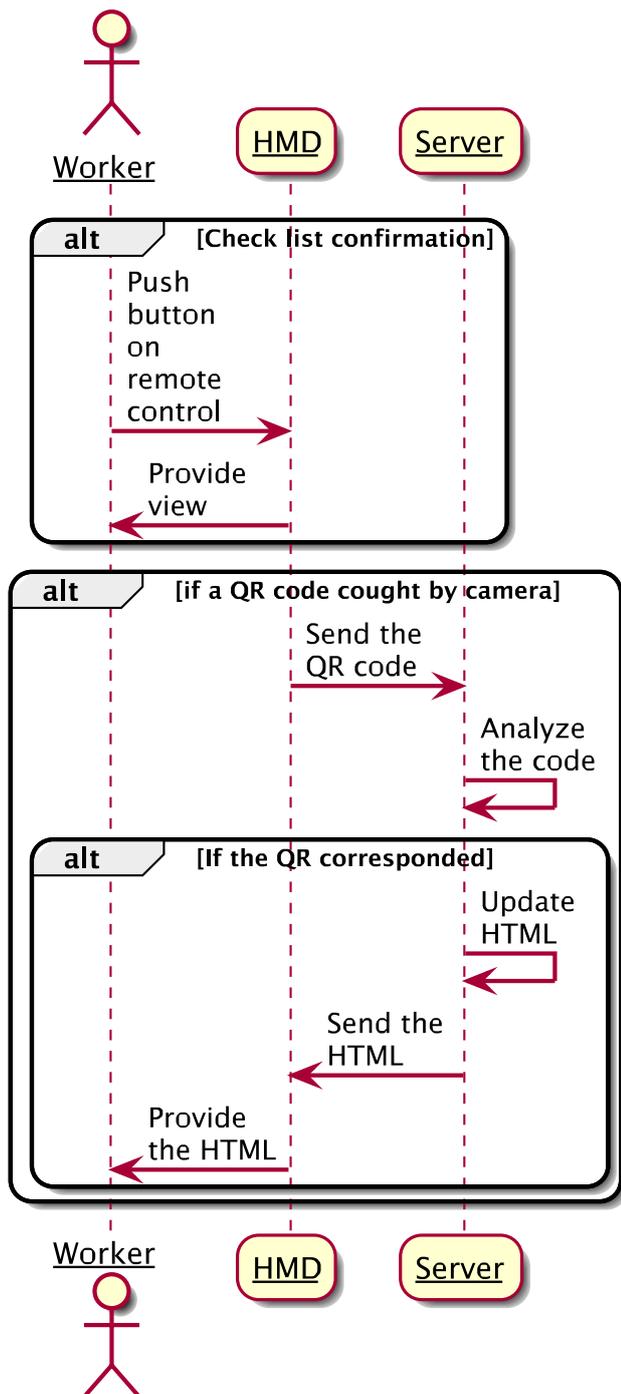


図 6 Sequence diagram for recognition

ホの浸透でタッチ操作である Natural User Interface(NUI)があるが、本システムでは、NUIが必要な程の複雑な操作を想定しておらず、確実な操作ができるリモコンが適切であると考えている。

6. 結論

本論文では、(1) 定期パトロールに注目して、事例データより得た知見を元に支援するというデータ指向パトロールの形態の提案した。(2) また、支援システムで用いるチェックリスト生成のため、その優先度を算出する特徴量

を明らかにし、その特徴量を現場の方が混乱なく入力できるようオントロジーを利用したデータ入力書式を提案した。(3) 生成チェックリストを元にパトロールを実施を支援する HI 装置 (システム) を提案した。

7. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP16K16367 の助成を受けたものです。この場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 総務省消防庁: 石油コンビナート等における事故情報 (平成 29 年), 技術報告 (2019).
- [2] 伊藤利昭: 多重独立防護層に基づくプロテクティブ制御系の設計, 第 59 回自動制御連合講演会, pp. 403-408 (オンライン), DOI: 10/ggvhpb (2016).
- [3] Minowa, H., Takeda, K., Shimada, Y., Fuchino, T. and Sato, Y.: Design and Implementation of MOC Supporter: Software System Supporting Management of Change to Realize Flexible Procedure Control and Accurate Cause Analysis, *Information Engineering Express*, Vol. 5, No. 1, pp. 47-58 (2019).
- [4] Minowa, H., Kazuhiro, T., Shimada, Y. and Fuchino, T.: A Design of a Software System Supporting to Appropriately Perform the Management of Change Procedure, *Proc. of ASCON-IEEChE2016*, Yokohama, pp. 247-252 (2016).
- [5] 中野義之, 西尾芳男: PEC-SAFER ヒヤリハット事例データベースの概要, *安全工学*, Vol. 46, No. 5, pp. 303-310 (2007).
- [6] 箕輪 弘嗣, 中尾 恵, 湊小太郎: 弾性体の 3 次元操作における力覚情報の追体験方法に関する研究, *日本 VR 医学会論文誌*, Vol. 5, No. 1, pp. 17-23 (オンライン), DOI: 10.7876/jmvr.5.17 (2007).
- [7] Rodríguez-Sedano, F. J., Conde, M. A., Ponsa, P., Muñoz, L. M. and Fernández-Llamas, C.: Design and Evaluation of a Graphical User Interface for Facilitating Expert Knowledge Transfer: A Teleoperation Case Study, *Universal Access in the Information Society*, Vol. 18, pp. 431-442 (online), DOI: 10/ggvhq3 (2019).
- [8] Minowa, H., Fujimoto, H. and Takeuchi, K.: A Mechanical Method for Evaluating Trainee Answers in a Risk Prediction Training System Based on the 4R Method, *Information Engineering Express*, Vol. 1, No. 3, pp. 59-68 (2015).
- [9] 後信: 医療事故・ヒヤリ・ハットの事例収集・分析と無過失補償制度, 月例セミナー (176 回), pp. 22-50 (2010).
- [10] 経済産業省: 現場保安力自己評価ツール (「現場保安力マトリクス」) (1392).
- [11] Elhdad, R., Chilamkurti, N. and Torabi, T.: An Ontology-Based Framework for Process Monitoring and Maintenance in Petroleum Plant, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 26, No. 1, pp. 104-116 (online), DOI: 10/f4pwkd (2013).
- [12] 石川誠一, 久保成毅, 古崎晃司, 來村徳信, 溝口理一郎: タスク・ドメインロールに基づくオントロジー構築ガイドシステムの設計と開発: 石油精製プラントを例として, *人工知能学会論文誌 = Transactions of the Japanese Society for Artificial Intelligence : AI*, Vol. 17, pp. 585-597 (オンライン), DOI: 10/fs8448 (2002).
- [13] 古崎晃司, 來村徳信, 佐野年伸, 本松慎一郎, 石川誠一, 溝口理一郎: オントロジー構築・利用環境「法造」の開発

- と利用-実規模プラントのオントロジーを例として-, 人工知能学会論文誌, Vol. 17, No. 4, pp. 407–419 (2002).
- [14] Camossi, E., Giannini, F., Monti, M., Bragatto, P., Pittiglio, P. and Ansaldi, S.: Ontology Driven Certification of Pressure Equipments, *Process Safety Progress*, Vol. 27, No. 4, pp. 313–322 (online), DOI: 10/dpq2p4 (2008).
- [15] 経済産業省 産業保安グループ保安課: スマート保安の実現に向けて, 技術報告, 経済産業省 (2017).
- [16] Shan Nan, Pieter Van Gorp, Hendrikus H.M. Korsten, Richard Vdovjak, Uzay Kaymak, Xudong Lu and Hui-long Duan: Tracebook: A Dynamic Checklist Support System, *2014 IEEE 27th International Symposium on Computer-Based Medical Systems*, pp. 48–51 (online), DOI: 10.1109/CBMS.2014.33 (2014).
- [17] Takeshi Moriyama and Kazutaka Yamaguchi: Quality Checklist System, *FUJITSU TEN TECHNICAL JOURNAL*, No. 18 (2002).
- [18] 箕輪弘嗣, 宗澤良臣: 単語の共起や頻度に注目した注意要因及び類似事例の抽出, *安全工学*, Vol. 51, No. 5, pp. 319–326 (2012).
- [19] 箕輪弘嗣: 共通要因としての単語に注目した事象の進展の統合化・可視化, FIT2017 (第16回情報科学技術フォーラム) 予稿集, 東京, 情報処理学会, pp. 343–344 (2017).
- [20] Minowa, H.: A Integrated Analyzing Method for the Progress Event Based on Subjects and Predicates in Events, *Proc. IEEE/SICE International Symposium on System Integration*, Tokyo, Japan, IEEE, pp. 678–683 (online), DOI: 10.1109/SII.2014.7028120 (2014).
- [21] 溝口理一郎: オントロジー工学の理論と実践, 人工知能学会 (2012).