

爆発性雰囲気における熟練作業者の技能伝承を目的としたウェアラブルカメラシステムの開発

野村光俊^{*1} 米澤 浩^{*1} 錦 朋範^{*1} 黒田芳信^{*2} 小松憲文^{*2}
松岡克典^{*3} 藤田俊弘^{*1}

Development of Wearable Camera System to Inherit the Skill of Experienced Operators in Explosive Atmosphere

Mitsutoshi Nomura^{*1}, Hiroshi Yonezawa^{*1}, Tomonori Nishiki^{*1}, Kuroda Yoshinobu^{*2}
Komatsu Norifumi^{*2}, Matsuoka Katsunori^{*3}, Toshihiro Fujita^{*1}

Abstract - As the so-called Y2007 problem is looming before us, the problem caused by Japan's aging demographic structure and retirement of baby-boomers is of a great concern for the plant maintenance workplaces. The Japanese industry is concerned not only about human resource, but also the possibility of declining maintenance skill due to the retirement of skilled workers, resulting in the loss of access to the wealth of their accumulated experience and knowledge that cannot be sufficiently explained in manuals alone. The challenge facing the Japanese industry today is how we develop the system to pass the skill and knowledge to the next generation. We have developed an innovative device for assisting maintenance and inspection. This wearable, small and lightweight device which can be used in explosive atmospheres captures the image seen by skilled workers and transmits the images real-time to the remote area through wireless LAN. The device consists of a controller and a miniature camera module mounted on a helmet, and equipped with an earphone and a microphone for voice communication. This paper reports on the innovative device to pass the skill and knowledge to the workplaces of next generation during this transitional time.

Keywords: Wearable, Intrinsic safety, Wireless LAN, Y2007 problem, Risk assessment

1. はじめに

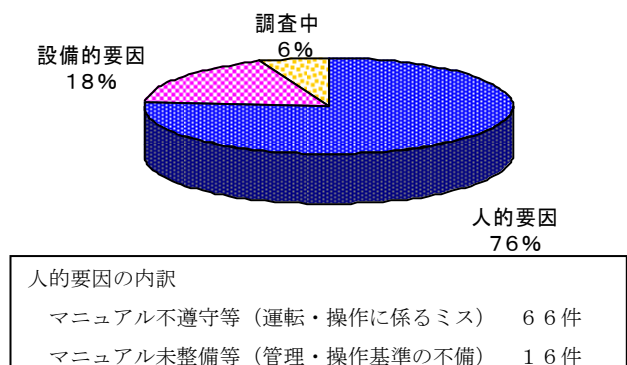
近年、日本の産業界は新しいモノ、技術を生み出すことによって大きく発展してきた。しかし、ここ数年、ものづくりの中心である産業現場において、事故が多発し、最大限配慮すべき「安全」や「防爆」が確保できていない極めて深刻な状況になってきている。製造業者は、自分が生み出したものがもたらす事態に対して責任があり、災害からの防止に努めねばならない。

これら多発する産業事故に対して、経済産業省や厚生労働省では、調査・分析を行い、図1のように事故の発生原因を人的要因と設備的要因、及びその複合ケースなどから発生していると報告し^[1]、「安全」や「防爆」に対する取り組みを徹底・指導してきている。「安全」や「防爆」の実現に最も重要なことは、装置システム自体の本質安全化(Inherent Safety)であり、リスクアセスメントによる安全技術導入が企業責任として実施されなければならない。

また、システムの本質安全化と共に重要とされている技術伝承については、経済産業省が2004年に発表した産

業事故に関するアンケート調査結果によると、「①スキルある熟練技術者の退職や高齢化と、②技術・ノウハウを持つ人材の確保・育成が不十分な点が指摘できる^[2]。」とあり、熟練技術者の技術伝承が最も重要であることを言及している。このことから、各企業はOJTや勉強会を通して熟練技術者の技能やノウハウの承継に取り組むとともに、ノウハウ等のマニュアル化・データベース化、及びその活用による訓練の実施を行っている。

技術伝承の別の側面として、2007年問題が挙げられる。図2は、日本における2000年の人口分布を示したグラフ



出展：産業事故調査結果の中間取りまとめ

（経済産業省 H15年12月16日）

図1 産業事故の要因

Fig.1 Factor of industrial accident

*1: 和泉電気株式会社

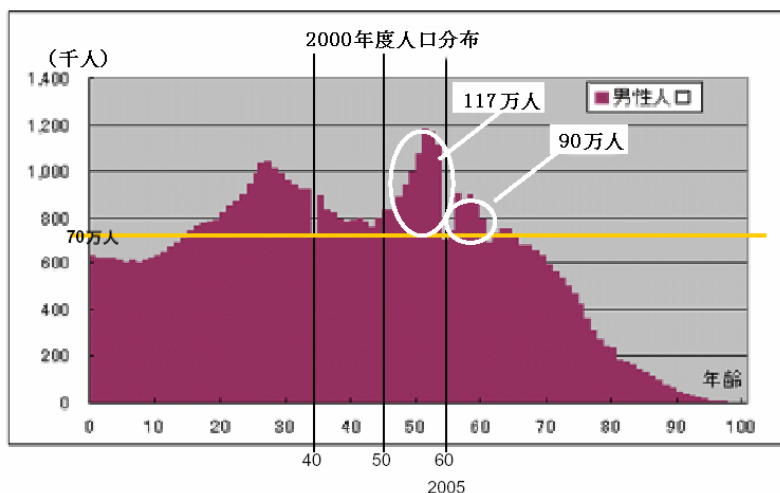
*2: 東洋エンジニアリング株式会社

*3: 産業技術総合研究所

*1: IDEC IZUMI CORPORATION

*2: TOYO ENGINEERING CORPORATION

*3: ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY

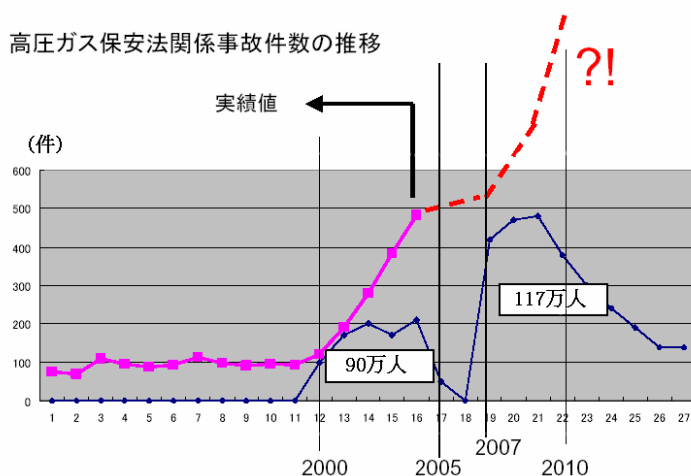


出展：2005 年版「化学工業年鑑」

図 2 人口分布図

Fig.2. Distributed figure of population in Japan.

高圧ガス保安法関係事故件数の推移



出展：2005 年版「化学工業年鑑」

図 3 急増する化学プラントの事故

Fig.3 . Accident of Chemical plant

である^[3]。このグラフを見ると、50 歳から 55 歳の間の年齢層の人口が多くなっており、いびつな人口分布を形成している。この年齢層は、『団塊の世代』と呼ばれ日本の産業の発展に大きく貢献してきた。しかし、2007 年に 117 万人の退職者が出ることに伴い、産業界における労働力不足が懸念されるようになってきた。このことを 2007 年問題と言い、2005 年版 化学工業年鑑によれば、「定常的に年間 70 万人のひとが 60 歳到達によって退職していき、循環的な世帯交替が行なわれていくのであれば、大きなインパクトにはならない。そこで 70 万人を超えた部分の異常値のかたまりに着目した。すでに 2000 年からの 90 万人のかたまりが読み取れる。つまり 2007 年問題の前兆がすでに起こり始めているわけである。そして次の巨大なかたまりが目前に控えている。」と記載されており、その緊急性を述べている。

また同様に、2005 年版 化学工業年鑑によれば、事故増加についても以下のように言及されている。

「図 3 は、高圧ガス保安協会が公表している高圧ガス保安法に関わる事故件数の推移であり、ここに図 2 の退職者異常増分のふたつのかたまりを重ね合わせた。

図 3 は高圧ガス保安法関係の全ての事故件数を表わしており、プラント内部の事故以外も含まれているが、事業所内での事故件数もこの 5 年で 2～3 倍に急増している。こうした現場の力の衰えは、他の産業でも多く見受けられる。2007 年の大きな社会問題といえる。また単に人数の問題ではなくて、昭和 30 年、40 年代ごろに採用した優秀な計画高卒の人達が現場で築きあげてきた経験と知恵の貴重な財産が失われていく問題を指摘する声も大きい。

一方で高度成長時代に投資した化学プラントは、30 年、40 年使い続けてきており、劣化による寿命問題が事故増大の要因と言われることも多いが、図 3 の 2000 年からの急増の生データを見る限り人的要因が大きな理由であることは明白である。

ここで取り上げた化学プラント設備は、累積 2000 兆円といわれる社会インフラおよび産業インフラ全体から見ると、極めてマイナーな一部かもしれない。しかし多くの設備は大なり小なり設備維持管理の現場の力の衰え問題をかかえている。事故多発という社会不安を避けるために、この技術伝承と人材育成および設備維持管理に関わる最先端の技術を駆使した新たな技術開発が国家喫緊の課題であろう。」

このように、今後保守・点検に係る環境は悪化する可能性が高いとの懸念を有している。

特に石油精製プラントについて、我が国製造業の中で設備年齢が最も高いことに加え、今後数年の間にオイルショック以前に大量採用した現場の作業員が一斉に定年を迎えることとあいまって、プラントの保守・点検作業の質的な低下が危惧されることから、経済産業省は、産業事故防止の観点から、若い作業員の全体的な熟練度の向上等早急な対応が必要であると考え、委託事業として平成 16 年度より「石油プラント保守・点検作業支援システムの開発」を推進している。

本研究では、石油精製プラントにおける熟練作業者の保守・点検作業時のマニュアルに表れない安全に関する技能・知見（ノウハウ等）を効率的に収集して、新人の教育・訓練等への活用を可能にする作業支援システムの

開発を進めている。このシステムの使用により、新人等の早期技能向上を図るとともに、保守・点検作業の効率化及び信頼性の向上を図ることができる。

われわれは、このシステムに必要である作業時の映像等の情報を、現場で撮影して配信できる小型軽量で作業者が負担にならずウェアラブルに装着できる、本質安全防爆仕様(Intrinsical safety)の保守点検作業支援デバイス(以下、ウェアラブルカメラ)を開発している。

また、本デバイスは、石油精製プラント現場内での危険な雰囲気での使用を可能にするため、防爆に対応する構造となっている。本稿では、ウェアラブルカメラの位置づけと開発内容について報告する。

2. 保守・点検作業における技術伝承

2.1 安全に対する考え方と企業責任の明確化

日本では今まで、機械や設備を使用する際の安全の確保を「現場での安全教育」に大きく依存してきた。これは日本の作業者が保有している現場レベル能力の高さにより、つい最近までは非常にうまく機能してきたが、ここ数年、色々と現場では大事故が多発する状況にある。

図4に日本と欧米の安全構築における考え方の根本的な違いを示す。従来の日本の場合、現場における安全構築の方法は、作業員への教育・指示徹底による「作業員責任」であり、「災害ゼロ」を目標としてきた。しかしながら、国際的に一般的な安全に対する考え方は、「危険ゼ

	災害ゼロ	危険ゼロ
安全の考え方	・作業員責任 ・教育訓練 ・安全な使い方の指示徹底	・企業責任 ・本質安全 (inherent safety) ・安全制御による機械
過去		
現在		

図4 安全構築の考え方

Fig.4. The view of safe construction.

ロ」を実現するために、企業責任において事業者側がリスクアセスメントを行い、本質的に安全な機械や環境を「経営責任」として構築することを基本としており、「災害ゼロ」と「危険ゼロ」の考え方は根本的に異なっている。リスクアセスメントは、リスクマネジメントの要諦であり、これからの企業経営に対して経営者の説明責任が必要であるのと同様に、今後日本でも広く浸透し、CSR(企業の社会的責任)の一環としても多くの企業が取り組むことが要請されている。

2.2 保守・点検作業支援システムの開発

技術伝承において重要なことは、前項で述べたとおり日本の場合、欧米と違って「人に仕事がついてくる」ことが当たり前であり、さまざまなノウハウは、作業員個人に保有されるということである。これは、その人が退職してしまえばそこでノウハウが喪失してしまう危険性

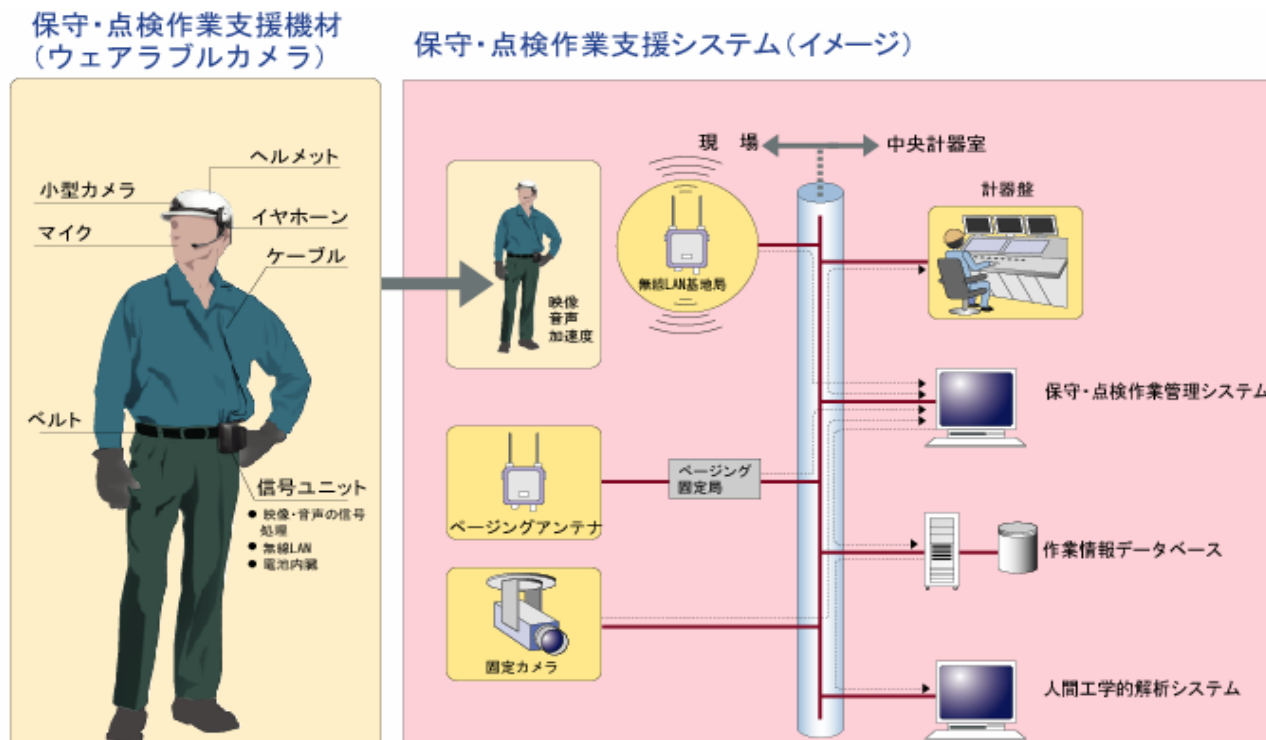


図5 保守・点検作業支援システム概要

Fig.5. Intrinsically safe wearable camera devices designed for supporting maintenance and inspection in manufacturing and petrochemical plants.

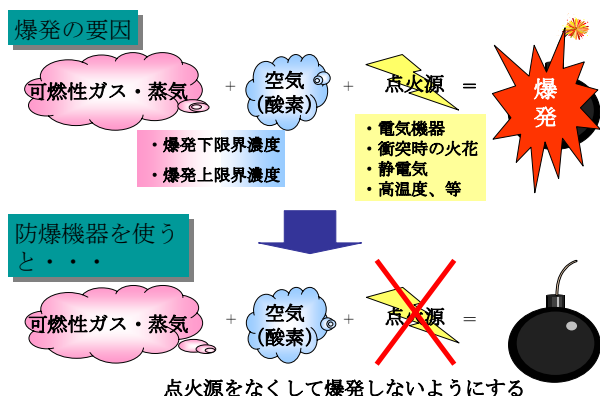


図 6 防爆とは
Fig.6. About intrinsic safety.

を示唆している。団塊の世代の作業員には、長年の経験からくる暗黙知とでもいうべき知恵が蓄積されており、これを、効率よく収集・伝承し、個人に頼らないシステムを確立することが重要であると考えられる。

本研究においては、熟練技術者の暗黙知を引き出すために、ウェアラブルカメラを用いて、熟練作業員の保守・点検作業時のマニュアルに表れない安全に関する技能・知見（ノウハウ等）を効率的に収集する。その後、その情報を基に、作業ノウハウが発揮された場所を抽出して、作業員教育に応用できる技術の開発を行っている。具体的には、図 5 に示すように、作業員にウェアラブルカメラを装着し、保守点検作業を行う。現場において収集された映像・音声・加速度データは、無線 LAN によってシステム内部に蓄積され、蓄積された情報から、作業ノウハウが発揮された場面では、作業時間や作業姿勢・作業場所が変化することが予想されることから、蓄積された情報から、普段と異なる作業が発生した場面や、新人作業員と熟練作業員の作業が異なる場面を人間工学的解析により抽出し、ヒアリングにより、作業員からノウハウを聞き出すきっかけとする。このノウハウを教育コンテンツとして新人作業員に提示することによって、効率的な作業教育を行うことを目標としている。

3. ウェアラブルカメラの開発

3.1 防爆とは

ウェアラブルカメラは、石油精製プラント等の爆発性雰囲気中での使用を目的としているので、安全性を確保するために、防爆構造にする必要がある^[4-8]。

防爆とは、図 6 に示すように、可燃性ガスや蒸気が存在する雰囲気（危険雰囲気）において、電気機器が起因する爆発を抑制・防止する技術体系を言う。

可燃性ガスや蒸気が爆発をおこすためには、「可燃性ガス・蒸気が存在する」以外に「空気（酸素）」および「点火



図 7 ウェアラブルカメラ装着図
Fig.7. Wearing wearable camera

源」の要素が必要であり、これら 3 要素を共存させないことが防爆の基本となる。従って、防爆技術においては、点火源対策が重要な要素の一つとなり、本研究においての技術要素となる。

3.2 開発コンセプト

前項のような防爆構造を実現するため、防爆検定に合格しなければ、危険場所での使用は認められない。防爆規格に適合するように設計することが必須条件となる。

和泉電気においては、防爆をコンセプトとした技術開発への取り組みはきわめて早く、創業当時の昭和 20 年代から約 50 年に渡って産業界に提供し続けている。今回、このような技術の裏づけを背景として、ウェアラブルカメラの開発を可能とした^[9-15]。

ウェアラブルカメラは、図 7 に示すとおり、作業員が負担にならないように、ウェアラブル化することを前提としているので、小型軽量にする必要がある。小型軽量を実現するためには、まず、適した防爆構造を選択しなければならない。電気機械器具防爆構造規格（昭和四十四年労働省告示第十六号）によると、防爆構造には 1) 耐圧防爆構造、2) 内圧防爆構造、3) 安全増防爆構造、4) 本質安全防爆構造など、多様な構造が定義されており、これらの中から、本質安全防爆構造を選択した。本質安

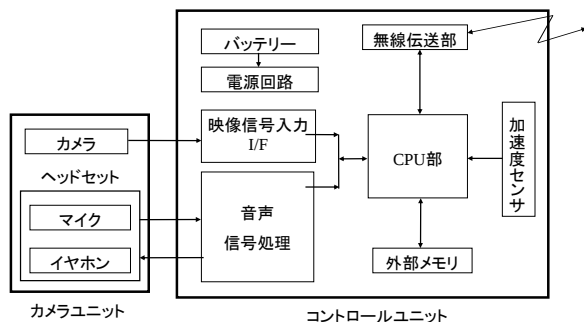


図 8 ブロック図
Fig.8. Block diagram.

全防爆構造とは、「電気回路に流れる電流又は同回路に蓄積される電気エネルギーのレベルが、正常時はもとより、故障時でも、爆発性雰囲気に着火するだけ大きくなりえない電気機器、又は、大きくなりえないように設計可能な電気機器に適用する」と定義されており、主として電気回路方式で防爆化を実現する方法である。従って、構造を主とした他の防爆構造に比べ、で小型軽量化が実現しやすくなる^[16]。

われわれは、このことを踏まえ、少ない電気エネルギーで、ウェアラブルカメラを問題なく動作させるように回路的な工夫を施し、本質安全防爆構造のウェアラブルカメラの開発を行った。

3.3 ウェアラブルカメラの内部構成

図 8 にウェアラブルカメラのブロック図を示す。

カメラユニット（図 9 a））に搭載されている CMOS カメラやマイクで収集された映像・音声情報は、信号処理ユニット（図 9 b））に取り込まれ、内部の CPU によって、ストリーミングファイルにエンコードされ無線 LAN によって、伝送される。その時、ウェアラブルカメラを装着している作業者の動作状況を確認するため、加速度センサの情報も併せて送信する構造となっている。

3.4 ウェアラブルカメラの仕様

ウェアラブルカメラは、危険場所において作業者に取り付け使用するため、取り付け方や使用方法など、考慮すべき項目が数多くある。また、リスクアセスメントの観点から、作業者が危険な場面に遭遇したり、事故を誘発するなど、安全点検作業の妨げにならないように設計しなければならない^[17-18]。

頭部には、図 9 a）に示すようにヘルメットに CMOS カメラモジュール及びヘッドセットを固定してあり、点検動作には邪魔にならず、重さも約 200g となっており、作業にはほとんど影響のない構造になっている。また、

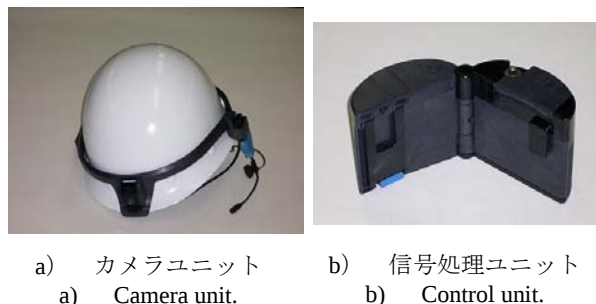


図 9 ウェアラブルカメラ外観図
Fig.9. Outside view of Wearable Camera

信号処理ユニットは、図 9 b）の様に開閉式の構造になっており、体の曲線に沿って取り付けできる。重さについては、信号処理ユニット・カメラユニットを併せて 1kg 以下であり、使いやすい仕様になっている。

表 1 ウェアラブルカメラの仕様
Table 1 .Specification of Wearable Camera

防爆構造	本質安全防爆構造 ExibIIBT3
電池	ニッケル水素電池内蔵 (保持時間：2 時間以上)
使用周囲温度	0～40℃
重さ	本体 約 600g カメラ部 約 200g
カメラモジュール	CMOS 31 万画素
映像サイズ	QVGA 15～20fps
加速度センサ	3 軸加速度センサ内蔵
通信規格	IEEE802.11b

ウェアラブルカメラの主な仕様を表.1 に示す。

電池については、ニッケル水素電池を内蔵しており、外部の専用充電器を使い充電を行い、その後、保守・点検作業を行うこととなる。また、保持時間は 2 時間以上を実現しており、点検作業に十分な時間内で動作させることができる。

カメラユニットには、撮影に十分な 31 万画素の CMOS カメラモジュールを使用しており、無線 LAN で AP（アクセスポイント）に映像データを送る仕様となっている。また一方、外部からの音声データを受信し、イヤホンにより、その情報を聞く機能も備えており、簡易的なペーシングシステムとしても使用できる。

また、信号処理ユニットには、3 軸加速度センサが内蔵されているが、これは、作業者の姿勢を判定するためのものであり、静止状態・歩行状態など、7 種類の姿勢を判定することが可能となっている。この情報は、人間工学的解析による作業の異なる場面を抽出するためのパラメータとして、映像・音声データと共に重要な要素となっている^[19]。

3.5 ストレージタイプ

本研究では、リアルタイムの解析を主体としているが、アプリケーションによっては、リアルタイム性が要求されない場合が想定される。そのため、われわれは、無線 LAN タイプと併せて、ストレージタイプの開発を進めている。ストレージタイプは、専用の記録メディアを使用し、映像・音声・加速度データを記録し、作業終了後にダウンロードを行い、システム内部に蓄積することが可能となる。

ストレージタイプの使用により、電波の届かないエリアの解析ができるようになる。また、システムに関係なく、ウェアラブルカメラのみの動作で情報収集ができ、情報収集時の負担が減るため、無線 LAN タイプと併用することによって、両者のデメリットを補完でき、あらゆる状況での使用を可能にすることができる。

4. おわりに

ウェアラブルカメラの開発では、実際に石油精製プラントの現場で作業している作業者の意見を反映させて開発しており、作業者の負担を軽減させる使いやすい製品化を目指している。今後、システムユーザがリスクアセスメントを実施して、現場での適用性能を安全性の観点から十分評価する必要がある。

本研究においては、将来的に、石油精製プラントにおいて収集した作業ノウハウを生かし、熟練作業者に頼らない「危険ゼロ」の考え方の浸透、及び、本質安全のシステムや機械・設備の使用が一般的になるための土台作りに貢献していきたい。

謝辞

本研究は、平成 16 年度から 18 年度までの経済産業省委託事業である「石油プラント保守・点検作業支援システム開発」事業により推進しているテーマである。研究開発を進めるにあたり、常にご助言頂いている、経済産業省製造産業局デザイン・人間生活システム政策室の皆様には深く感謝いたします。また、社団法人人間生活工学研究センター、株式会社コスモ総合研究所、株式会社新日石総研、独立行政法人 産業技術総合研究所、東洋エンジニアリング株式会社をはじめ、共に研究を進めているプロジェクト関係各位に厚くお礼申し上げます。最後に、使用者の立場から非常に有益なアドバイスを頂いた新日本石油精製株式会社、コスモ石油株式会社のお世話になった多くの方々に心よりお礼申し上げます。

参考文献

[1] 産業事故調査結果の中間とりまとめ 平成 15 年 12 月, 経済産業省 (2003)

[2] 産業事故に関するアンケート調査結果について 平成 16 年 8 月, 経済産業省 (2004)

[3] 2005 年版 化学工業年鑑, 化学工業日報 (2005)

[4] IEC60079-0:1998/Amd.1:2000, Electrical apparatus for explosive gas atmospheres- Part0:General requirement.

[5] IEC60079-11:1999 Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Part0:Intrinsic safety “I” .

[6] 防爆構造電気機械器具 型式検定ガイド(規格に整合した技術的基準関係);(社)産業安全技術協会 (1996)

[7] 防爆構造電気機械器具 技術的基準に係る型式検定の手引き;(社)産業安全技術協会 (1997)

[8] 労働省 産業安全研究所:産業安全研究所技術指針 RIIS-TR-94-2 ユーザーのための工場防爆電気設備ガイド(ガス防爆 1994);(社)産業安全技術協会 (1994)

[9] IZUMI DENKI ENGINEERING DIGEST 7 防爆特集号;和泉電気(株) (1975)

[10] “講習会テキスト 工場電気設備防爆技術”;和泉電気(株), p1-p2 (2003)

[11] 井上繁俊: EX4R-D30 形タッチパネル付防爆形ディスプレイの開発; IDEC REVIEW,和泉電気(株),p.89-97 (1994)

[12] 井上繁俊: 超小形 PC MICRO3 の本安化技術”; IDEC REVIEW, 和泉電気(株), p.68-75,(1996)

[13] 林良樹 他:” IEC 規格 79 に整合した防爆製品の開発”; IDEC REVIEW, p.49-56, 和泉電気(株) p.49-56, (1999)

[14] 井上繁俊 他: 第 32 回安全工学研究発表会予稿集 ” 国際規格 IEC60079 に対応した爆発性ガス雰囲気で使用可能な制御機器の開発”; 安全工学協会(2000)

[15] 林良樹 他:” トラブル予防に役立つ防爆設備のメンテナンス・ノウハウ集ー防爆設備技術者必携「Q&A 集」ートラブルを防止する防爆機器のメンテナンス研究会編;(社)日本プラントメンテナンス協会 (2002)

[16] 田中隆二: “初心者のための防爆電機設備の知識”; (社)産業安全技術協会, p38 (2003)

[17] 化学設備編 非定常作業の安全 ーガイドラインと解説 ー; 中央労働災害防止協会 (1998)

[18] JIS B 9702:2000, 機械類の安全性ーリスクアセスメントの原則

[19] 松岡克典 他: 携帯カメラ映像と身体加速度情報を用いた作業者行動解析(I); 日本人間工学会関西支部大会 (2004)