

液化水素製造設備における安全性を考慮した 水素防爆タッチスイッチ付操作表示器の応用

安川謙一^{*1} 大杉典史^{*1} 井上繁俊^{*1}

中島康広^{*2} 渡辺 聡^{*2} 谷 義勝^{*2} 藤田俊弘^{*1}

Application of hydrogen explosion-proof LCD display with touch switches to liquefied hydrogen production system for ensuring safety

Kenichi Yasukawa^{*1}, Norifumi Ohsugi^{*1}, Shigetoshi Inoue^{*1},
Yasuhiro Nakajima^{*2}, Satoshi Watanabe^{*2}, Yoshikatsu Tani^{*2}, Toshihiro Fujita^{*1}

Abstract – As global warming induced by carbon dioxide (CO₂) is expected to cause serious consequences to the environment, close attention has been paid to hydrogen gas in recent years as a new type of fuels which can eventually replace fossil fuels. The demand for hydrogen gas is on the rapid rise as well, and as the Ministry of Economy, Industry and Trade foresees the practical application of hydrogen gas to start around 2010, development of elemental technologies for the gas, such as for hydrogen production systems, has a significant importance. While hydrogen production systems will see an increase in the number of applications, the conventional method to manually operate the valves when transferring liquefied hydrogen gas into transportation tankers has many usability issues, which can be improved greatly by using programmable displays equipped with touch switches as a new type of interfaces. We have developed the world's first programmable display with touch switches that provide protection against hydrogen and excel in high level of safety and usability. In this paper, we report on the programmable display which proved excellent usability in the process where liquefied hydrogen is transferred to the transportation tanker.

Keywords: Hydrogen gas, Energy, Touch switch, Explosion-proof and Safety

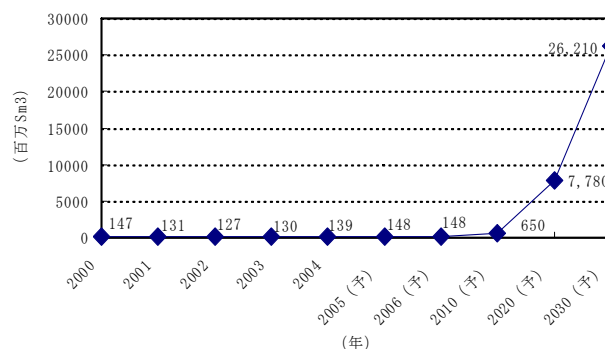
1. はじめに

近年、地球温暖化が世界全体に深刻な問題をもたらすことが指摘されている。気候変動に関する政府パネル（ICPP：Intergovernmental Panel on Climate Change）による第三次評価報告（2001年）では、地球の平均地上気温は1990年から2100年までの間に1.4～5.8℃上昇すると予想されており、第二次評価報告書（1995年）のときの上昇量（1.0～3.5℃）よりも大きくなっている。^[1]

これらの原因として、二酸化炭素（CO₂）を中心とする温室効果ガス濃度の増加があげられる。産業革命以降、人類が石炭や石油といった化石燃料をエネルギー源として大量に消費するようになって以来、大気中のCO₂の濃度は上昇し続けている。^[1]

そこで、地球環境問題の最重要課題であるCO₂の削減のために、化石燃料に代わるさまざまな新エネルギーが模索されるなか、今世紀のエネルギーの主役として大きな脚光を浴びているのが「水素」である。

水素は半導体・光ファイバー等各種工業分野で使用されており、図1に示すとおり、近年の需要量は増加傾向



出典：2006年版「2006ガスジオラマ」

水素エネルギー社会の将来像（資源エネルギー庁 2004年）

図1 商業用水素ガスの需要推移
Fig.1 Demand Trend of Commercial Hydrogen Gas

である。^[2-3] また、燃料電池の開発が進み、燃料電池自動車・定置式燃料電池が一般化されれば、水素の需要量は飛躍的に増加することが予想される。

今後、水素製造設備が普及するに伴い、水素製造設備からの水素供給のための操作性に関しては、従来の手動弁を操作する方法では操作性の課題が多く、新しいユーザインタフェースとして、タッチスイッチ付プログラマブル操作表示器を導入することで、ユーザビリティを大幅に改善することが期待できる。そこで、今回われわれ

*1: IDEC 株式会社

*2: 岩谷産業株式会社

*1: IDEC CORPORATION

*2: IWATANI INTERNATIONAL CORPORATION

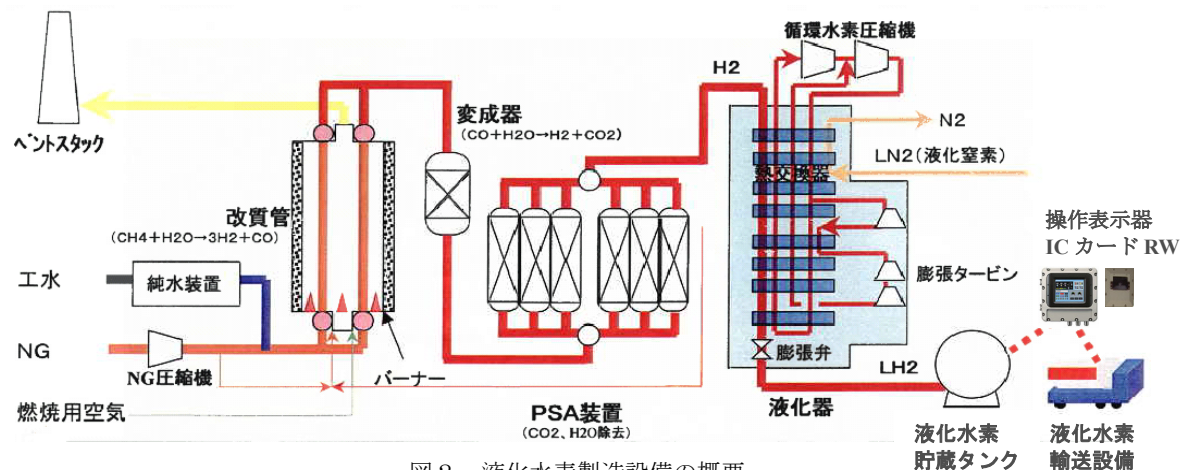


図2 液化水素製造設備の概要
Fig.2 Liquefied Hydrogen Production System Schematic

は、安全性やユーザビリティに優れたタッチスイッチ付プログラマブル操作表示器の水素防爆化を本質安全及び耐圧防爆構造として、世界で初めて実現し、液化水素製造設備輸送車に水素を供給する段階に導入したので、その利便性について報告する。

2. 液化水素製造設備の概要

2.1 液化水素製造設備とは

米国では液化水素供給が一般的であるが、我国ではこれまで液化水素は、宇宙開発等の限られた用途で使用されてきた。水素を液化することにより、1回あたり圧縮水素供給と比べて最大12倍の供給量が可能となるため、液化水素で供給することにより、高い経済性と合理性を得ることが可能となる。

その液化水素の本格的な供給拠点として誕生したのは(株)ハイドロエッジである。(株)ハイドロエッジでの大型液化水素プラントの建設は米国と同様、液化水素を日本国内で汎用化させるための第一歩として大きな意義があり、様々な分野・地域からの注目を集めている。

液化水素製造設備の概略プロセスフローを図2に示す。隣接工場から送られた天然ガス(NG)は、圧縮されて改質管に送られる。改質管の中には触媒が充填されており、改質管内でNGと水蒸気を800℃程度まで加熱することにより化学反応を起こし、NGは主に水素と一酸化炭素(CO)及び二酸化炭素(CO₂)に変化する。その後、変成器を通すことでCOをCO₂に変え、次に送られるPSAでCO₂及びH₂Oを除去する。PSAを通すことで、限りなく100%に近い水素ガスは、水素液化器に送られる。

液化システムは「水素クロードサイクル」を採用しており、隣接の空気分離ガス製造装置で製造した液化窒素の寒冷、及び水素循環圧縮機で水素を圧縮し、膨張タービンを回転させることにより発生した寒冷を用いて水素ガスを液化している。

液化水素は、図3a)に示すタンクに貯蔵され、出荷計



a) 液化水素貯蔵タンク
a) Liquefied Hydrogen Storage Tank



b) 液化水素輸送設備
b) Liquefied Hydrogen Transportation Tanker



c) 左：操作表示器 右：ICカードRW
c) Left: Programmable Display Right: IC Card Reader/Writer

図3 液化水素製造設備の詳細
Fig.3 Liquefied Hydrogen Gas System

画に基づきタンクから真空断熱配管を通して、図3b)に示す各種液化水素輸送設備に供給されるが、従来の手動弁のみを用いた操作ではなく、コントロール弁を導入し、中央制御室からのみではなく、現場でもコントロール弁の操作を実施可能とするため、図3c)に示す水素防爆化されたタッチスイッチ付プログラマブル操作表示器及びICカードリーダーライター（以下、ICカードRW）を採用した。

なお、㈱ハイドロエッジとは、資本金 4.9 億円（出資比率：岩谷産業 50.0% 関西電力 39.8% 堺LNG㈱ 10.2%）にて、2004 年 4 月に創立された、圧縮水素、液化水素及び空気分離ガス（酸素、窒素、アルゴン）の製造及び販売を行う事業会社である。

2.2 プログラマブル操作表示器の導入

タッチスイッチ付プログラマブル操作表示器は、液化水素をタンクから輸送用タンクローリー等に充填する際に使用されている。これまでは熟練した作業者が紙ベースの作業マニュアルに従い充填を行っていたが、液化水素を汎用化させるためには、熟練した作業者のみならず、ある程度の経験があれば誰でも安全に充填することが可能である必要があった。

そこで、熟練の作業者がこれまで培ってきた経験をプログラマブル操作表示器に集約し、自動化を含めたアンサーバック方式を採用することにより、ある程度高压ガス機器を扱った経験のある人であれば誰でも液化水素の充填が可能となるシステムを構築した。

また、併設しているICカードRWにより、無許可の作業者が操作することを防げるほか、トレーサビリティによる作業者の操作履歴を残すことで、オペレーションの安全管理や誤操作の要因解析や改善に有効である。

3. タッチスイッチ付操作表示器の水素防爆化と特徴

3.1 防爆構造とは

従来は手動によるバルブの開閉にて液化水素の供給を

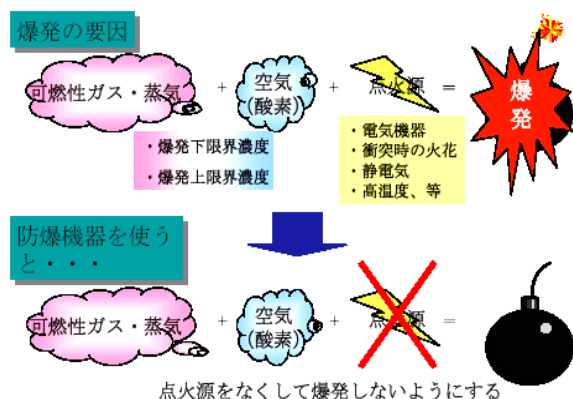


図4 防爆とは

Fig.4 About Explosion Protection

燃料	グループ	爆発限界濃度の範囲
ガソリン	II A	1.4~7.6
プロパン	II A	2.1~9.5
メタン	II A	5.0~15.0
エチレン	II B	2.7~34.0
水素	II C	4.0~75.6

出典：防爆構造電気機器器具型式検定ガイド（1996）

図5 主な爆発性ガス・蒸気の爆発限界濃度 (vol%)

Fig.5 Explosive Limit Concentration (vol %) for Major Explosive Gases and Vapors

行っていたが、タッチスイッチ付プログラマブル操作表示器にて操作を行うことで、様々な利便性が上げられる。しかし、その反面、手動とは異なりタッチスイッチ付プログラマブル操作表示器は電気機器ということで、爆発性雰囲気で使用すると爆発する恐れがあり、防爆構造にする必要性がある。^[4-8]

防爆とは、図4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。^[9-10]

特に、水素は図5で示すとおり、他の一般的なガスと比べて非常に広範囲の爆発限界濃度を示しており爆発の危険性が高いとされている。^[6,11]

3.2 防爆構造の種類

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、今回われわれがタッチスイッチ付プログラマブル操作表示器に選択した防爆構造は、タッチスイッチの部分の本質安全防爆構造で、それ以外の電気機器は耐圧防爆構造である。

本質安全防爆構造とは、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、正常時よりも、故障時でも、爆発性雰囲気に点火しないように制限された構造である。^[6,11] 一方、耐圧防爆構造は、全閉構造であって、ガス又は蒸気が容器の内部に浸入して爆発を生じた場合に、容器が爆発圧力に耐え、且つ爆発による火炎が容器の外部のガス又は蒸気に点火しないようにした構造である。^[6,11] 火炎が容器の内部から外部に到達する要因としては、容器の接合面の僅かなすきまによるものである。それを防ぐための容器の接合方法は何種類が存在するが、今回われわれは、図6に示すように、フランジ構造による接合方法を採用した。この方法

表 1 グループ別の主な条件比較表
Table 1 Comparison of Test and Design Conditions for Gas/Vapor Groups

				グループ		
				Ⅱ A	Ⅱ B	Ⅱ C
試験条件	1	爆発強度試験	試験回数	1回	1回	3回
設計条件	2	フランジ接合面	奥行き (mm)	12.5 min	12.5 min	25 min
	3	(内容積2000cm ³ 以上)	すきま (mm)	0.2 max	0.15 max	0.04 max
	4	本質安全回路部の電氣的エネルギー (μ J)		320 max	160 max	40 max

の場合、いんろう構造等、他の接合方法に比べて、容易に容器の開閉を行うことが出来るため、容器内部の電気機器のメンテナンスをする作業性に優れる等の利点がある。

3.3 タッチスイッチ付操作表示器の水素防爆化

耐圧防爆構造や本質安全防爆構造の電気機器にあっては、それらを対象とするガスまたは蒸気の分類 A,B,C に応じて、それぞれグループ II A, II B, II C に分類される。図 5 に示すとおり、一般的なガスはグループ II A や II B に分類されているのに対して、水素ガスはグループ II C に分類されている。表 1 は、これらグループ別に課せられる防爆構造としての主な試験条件や設計条件を表したものである。^[6] 以下に、グループ II C を基準としたグループ II A や II B との比較を述べる。

3.3.1 爆発強度試験

図 7 に示すように容器内にガスを充填させて点火し、爆発させる試験である。II C の場合、3 回の繰り返し試験に耐えるための容器の強度が必要である。^[6]

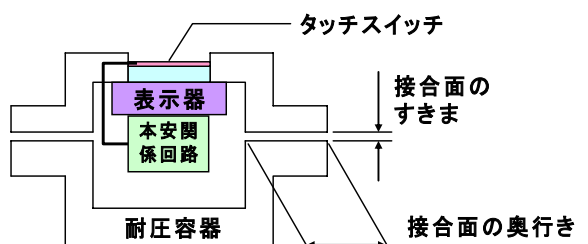


図 6 タッチスイッチ付操作表示器の防爆構造
Fig.6 Explosion-protection Structure for Programmable Displays with Touch Switches

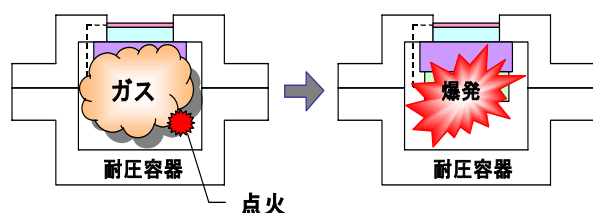


図 7 爆発強度試験
Fig.7 Explosion Test



図 8 水素防爆対応タッチスイッチ付表示器 BOX
Fig.8 Hydrogen-proof Programmable Display with Touch Switches

3.3.2 フランジ接合面の奥行き

図 6 に示すように上下容器が接する面の長さのことである。水素は、点火時の燃焼速度がメタンやガソリンに比べて非常に速く、接合面は 2 倍の長さが必要である。^[6]

3.3.3 フランジ接合面のすきま

フランジ面の歪み等によるすきまを小さくするために、奥行きを 2 倍としても、更に、約 4～5 倍の平面加工精度が要求される。^[6]

3.3.4 本質安全回路部の電氣的エネルギー

水素は、メタンやガソリンに対して約 1/10 のエネルギーで着火するとされており^[12]、表 1 に示す通り、II C の場合、電氣的エネルギーを 40 μJ 以下にしなければならない。^[6]

以上より、グループ II C は、II A や II B と比べて試験的にも設計的にも非常に厳しく設定されており、水素ガスがいかに危険性の高いガスであるかが分かる。われわれはこれらのことを踏まえ、タッチスイッチ部は水素ガスに点火することのない電気エネルギーで、タッチスイッチ部以外の電気機器は、万が一、爆発したとしても周囲のガスに点火しないような容器で囲うことにより、図 8 に示すような水素ガス対応の防爆構造化を実現させた。

4. ユーザビリティと安全性

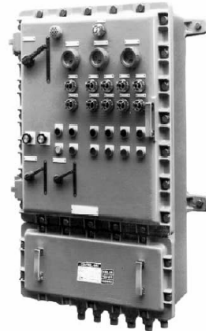
表 2 は、液化水素製造設備にて製造された液化水素をタンクローリーに充填する際のバルブ操作を自動化した場合、押しボタンスイッチ及び表示灯などを用いた SUI (Solid User Interface) を中心としたインタフェースと、今回われわれが実際に採用したタッチスイッチを用いた GUI (Graphical User Interface) によるインタフェースとの利便性について、5 つの観点からまとめたものである。

4.1 安全性

バルブ操作をタッチスイッチ付プログラマブル操作表示器にすることにより、安全性は向上される。例えば、

表2 液化水素充填設備のバルブ操作インターフェースの違い

Table 2 Performance Comparison of Valve Operation Interface in Liquefied Hydrogen Transferring Systems
– with Pushbuttons and Touch Switches

	項目	押しボタンスイッチ等による操作	タッチスイッチによる操作		
	バルブ開閉操作 インターフェース				
安全性	全体の状況	把握しにくい	×	一目瞭然	◎
	インターロック機能	構築しにくい	△	システムにより誤動作防止が可能	◎
操作性	操作手順	別途手順書により操作	△	画面表示に従うだけで容易に操作可能	◎
	調整	集中管理室と現場での連係が必要	△	現場のみにて対応が可能	◎
管理	操作履歴	別途紙ベースにて管理	△	自動的に履歴を保存・管理できる	◎
	ネットワーク	上位システムと情報の共有が困難	×	上位システムとの通信が容易	◎
メンテナンス	状況確認	メンテナンス時には活用できない	×	ツールとしてメンテナンス状況の確認が可能	○
	履歴	中央制御装置にて管理	○	中央制御装置にて管理	○
設備	コスト	比較的安価	○	比較的高価	△
	設置スペース	大	△	小	○

押しボタンスイッチや表示灯では、数ある弁の全体の開閉状況やつながりが把握しづらく、誤って弁を開くまたは閉じてしまう可能性は大いに考えられるが、タッチスイッチを使用することで、設備全体の状況が一目瞭然となり、更に、インターロック等をシステムにて制限を設け、作業者が間違った操作を行ったとしても、誤動作を防ぐことが可能となる。

4.2 操作性

タッチスイッチであっても押しボタンスイッチであっても、実際に弁の開閉を行うのは、人間の意志と操作によるものであるが、両者で大きく異なる点は、作業者の

技能レベルであると考える。前者の場合、プログラマブル操作表示器に予め作業手順のシステムを組んでおけば、誰が操作しようとも特に大きな変わりはなく、現場のみにて、常に安定した作業をすることができる。後者の場合は、ミスを伴う可能性が考えられるので、操作手順を熟知したベテラン作業者による作業が望まれており、しかも、遠隔の集中管理室との連係も必要となる。よって、タッチスイッチを使用することによって、作業者の技能レベルを問わず、迅速に作業を行うことができる。

4.3 管理

今回プログラマブル操作表示器を使用したことによる

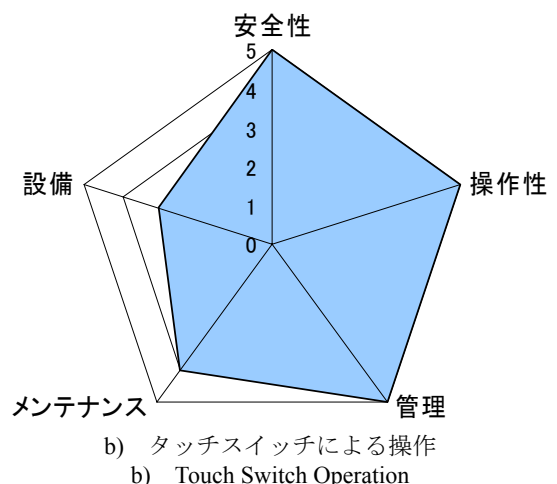
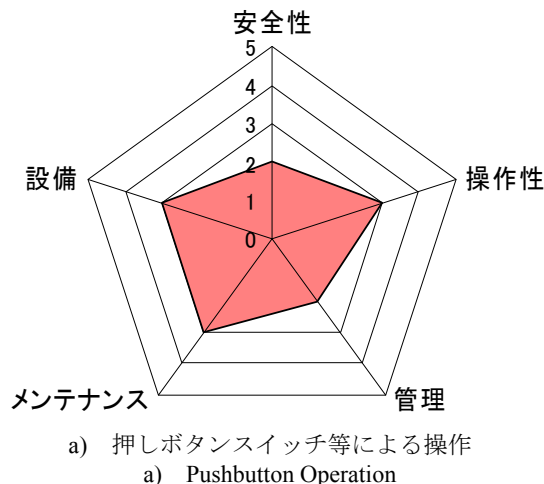


図9 液化水素充填設備のバルブ操作インターフェースの違いによる評価比較

Fig.9 Evaluation Comparison of Valve Operation Interface in Liquefied Hydrogen Transferring Systems
– with Pushbuttons and Touch Switches

大きな特徴として、IC カード RW を組み合わせることによるデータの管理があげられる。水素防爆化された IC カード RW とネットワーク通信することにより、タンクローリーの出入庫履歴の蓄積が可能で、管理が容易となる。また、これまでの操作履歴等を中央制御装置（DCS）にて一元管理することができ、情報を共有することが容易となるので、作業員全員が常に同じ認識レベルで作業することができる。また、逆に操作者を限定させることもできる。

ネットワーク通信を用いることによりいつでもどこでも情報を入手することができ、弁一つ一つの状況を細かく管理することも可能となる。押しボタンスイッチであれば、作業員が毎回、作業を終えた後に履歴表を作成し、それをファイリングする必要があるので二度手間となるほか、履歴表の作成ミスや漏れ等も十分に考えられる。また、監視する場合でも、カメラによる監視でも細かい箇所のチェックは困難であり、十分な監視とまでは言い難い。

4.4 メンテナンス

このような大規模な設備の場合、定期的にメンテナンスを行う必要がある。その際、タッチスイッチを一つのツールとして使用することにより、メンテナンスの状況を確認することが可能となる。

4.5 設備

コスト的に考えると、押しボタンスイッチ単体と、プログラマブル操作表示器が内蔵されているタッチスイッチとを比べるとタッチスイッチの方が、高価であることは間違いない。しかし、プログラマブル操作表示器の機能を押しボタンスイッチや表示灯、レベルゲージ等に置き換えてみると、個々の防爆機器の数が増え、更にそれだけの数を集約する耐圧 BOX も大きくなる。また、実際に設置された後のことも考慮すると安易に押しボタンスイッチの方が安価だとは言えない。

また、人件費のことを考えると、前述したとおり、押しボタンスイッチは操作から管理、履歴まで、全てアナログ的に人間の作業によって行う必要があり、安全性の向上のためには、同時に複数人の作業員が立ち会う場合や、ベテラン作業員に頼りがちになってしまうことも十分に考えられる。

4.6 総合評価

以上のように、5つの観点から押しボタンスイッチ等による操作とタッチスイッチによる操作を比較したが、図9に示すように、レーダーチャートにまとめると、タッチスイッチによる操作が、よりユーザビリティや安全性の面で優れていることが分かる。

5. おわりに

今回われわれは、液化水素製造設備でのユーザビリティと安全性の向上を目的として、タッチスイッチ付プログラマブル操作表示器の水素防爆化を本質安全及び耐圧防爆構造として世界で初めて導入し、その利便性ならびに防爆化について述べてきた。タッチスイッチを導入することで、ユーザビリティをはじめとして、安全性、操作性、管理性等あらゆる点で有効である。今後は、液化水素のタンクローリーへの充填作業のみにとどまらず、ユーザーの敷地内に設置する液化水素受入れ設備や液化水素ステーション等への展開も考えられる。

謝辞

本稿を執筆するにあたり、ご助言、ご協力頂きました株式会社ハイドロエッジの上羽尚登社長、大崎哲輝取締役工場長、岩谷産業株式会社、ならびに I D E C 株式会社の関係者の皆様に、この場を借り深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 第三次評価報告書; 第一作業部会, 気候変動に関する政府間パネル (IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001)
- [2] “2006 ガスジョラマ”; (株) ガスレビュー, P64(2006)
- [3] 水素エネルギー社会の将来像; 第 12 回燃料電池実用化戦略研究会配布資料, 資源エネルギー庁(2004)
- [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] 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, (2003)
- [12] 岡田益男:新しい材料をもたらす水素の世界, (株) クバプロ, P8-P9(2004)