

〈技術レポート〉

## 低温配管・装置用耐火保冷工法について

A・E事業本部 MD一部 菊池 四郎  
勝 吉 憲 幸

可燃性液化ガス施設の災害度の高い区域で使用する耐火保冷工法として、耐火材に無機物を主成分とした発泡体を用い、これと、保冷材・防湿材を一体成形したT/#5001-TKフォームナートカバーTKと、その目地部にT/#5003フォームナートSNBを注入発泡して断熱構造を形成することにより、従来工法の問題点を解消した新工法を開発した。ここでは、この工法の特徴、性能試験の結果などについて述べる。

### 1. はじめに

可燃性液化ガス施設において災害度の高い区域では、火災から保冷の防護措置として、保冷材の外表面に耐火性の高い材料を被覆した断熱構造を採用している。

しかし、この構造は、耐火材が雨水などにより吸水、重量増加に伴う脱落、防湿材・外装材の損傷、保冷材の劣化を生じやすくさせるなどの問題があり、その改善が強く求められている。

ここでは、耐火材・保冷材及び防湿材を一体成形したT/#5001-TKフォームナートカバーTKを使用し、その目地部にT/#5003フォームナートSNBを注入発泡して断熱構造を形成することにより、従来の問題を解消した新工法を開発したのでその概要を紹介する。

### 2. 液化石油ガス基地の耐火基準について

#### 2.1 液化石油ガス基地の耐火基準制定の経緯

昭和43年頃、LPG球形貯槽の耐圧試験中に問題が発生した。再発防止のために材料の選定、施設の設計、製作、施工などの技術基準をまとめたものが高圧ガス保安協会により作成された。

この技術基準のうち、火災時における保冷材の耐火性能基準として

KHK-S-0201「高圧ガスの球形貯槽に関する基準」

KHK-S-0303「安全弁の適用基準」

KHK-S-0707「断熱に関する基準」

の3種類の自主基準が制定された。

これらの基準は現在では廃止されているが、断熱材の耐火性能に関する基準として、液化石油ガス保安規則及び一般高圧ガス保安規則の規定に基づく「製造施設の位置、構造及び設備並びに製造方法等に関する技術基準の細目を定める告示」（以下：製造細目告示）の第7条の二 三ロ（イ）（i）などに継承されている。

#### 2.2 高圧ガス保安協会自主基準の耐火性能

液化石油ガス保安規則及び一般高圧ガス保安規則の規定に基づく製造細目告示第7条の二 三ロ（イ）（i）に安全弁の火災時の吹き出し量について定める項目で断熱材の耐火性能は、「断熱材の措置が講じられている場合（火災時の火炎に30分間以上耐えることができ、かつ、防消火設備による放水などの衝撃に耐えることができるものに限る。）」とある。

しかし、どのような断熱材・耐火材を使って、どのような試験に適合するかの規定がないため、2.1で示した3種の自主基準から紐解いてみることにする。

KHK-S-0201「高圧ガスの球形貯槽に関する基準」によると、保冷材の耐火性能は、以下の条件を満たすものとなっている。

- ① 不燃性または難燃性のものであり、必要な耐熱性を有すること。
- ② 900℃、30分以上の耐熱性を有していない不燃性保冷材、または難燃性保冷材の表面に不燃性耐熱処置を行なったものを使用する場合、不燃性耐熱被覆材の厚さは使用する保冷材の性能によって考慮すること。

- ③ 耐熱被覆材の耐熱試験は試験体面を30分間、900℃に保持する火炎にあて、裏面鋼板の温度が加熱試験中350℃以下とする。

また、KHK-S-0303「安全弁の適用基準」における「断熱材」は、「火災時の加熱に30分間耐えられるもの」と記述されており、試験方法は、前述の③と同様である。

よって、「火災時の火炎に30分間以上耐えること」とは、断熱構造体の片面を900℃に加熱したときに30分間、その裏面温度が350℃以下を指し示す材料の選定が必要であると判断される。

これら、KHK-S-0201及びKHK-S-0303に示される「難燃性保冷材」、「断熱材の条件に適合する断熱材」とは、KHK-S-0303の解説及びKHK-S-0707「断熱材に関する基準」に規定されており、「ASTM-1692-59T（現状廃止）に準拠した試験方

法でSE級（自己消火性）に合格する材料を適用する。」と記述されている。このASTM-1692-59T（現状廃止）の試験方法は、JIS A 9511-1995発泡プラスチック保温材 硬質ウレタンフォーム保温材燃焼性試験方法4.13.2測定方法Bに継承され、判定基準は、「燃焼時間120秒以内で、かつ、燃焼長さが60mm以下であること。」である。

以上のことから、製造細目告示に示される断熱材は、

- ① JIS A 9511-1995発泡プラスチック保温材 硬質ウレタンフォーム保温材燃焼性試験方法4.13.2測定方法Bに合格した保冷材を使用し、

- ② その表面に耐熱被覆材を取付け、
- ③ 断熱構造体の片面を900℃で30分間加熱したときに、その裏面温度が350℃以下となる。

ような断熱構造が適合されることとなる。

また、「防消火設備による放水などの衝撃に耐えることができる」については、金属製外装材を施工することで対応が可能であると判断される。

### 3. 現在の耐火保冷工法の問題点

従来の耐火保冷工法は、配管・機器に保冷材・防湿材を施工した後に耐火材を施工する工法が採用されている（表1）。

耐火材としては無機鉱物（パーミキュライト）を主成分としたT/#6750-Rパーモサルシートやガ

表1 耐火保冷工法の比較

工 法	新工法	従 来 工 法		
	耐火材・保冷材 一体工法	パーモサルシート 巻き付け工法	無機繊維シート 巻き付け工法	耐火材塗布工法
構 成	T/# 5001-TKフォームナート カバーTK+フォームナートSNB 注入+外装板	ウレタンカバー+T/# 6750-R パーモサルシート+外装板	ウレタンカバー+無機繊維 シート+外装板	ウレタンカバー+T/# 5535-F フリー耐熱コンパウンド+ 外装板
耐 火 材	無機発泡体 (水酸化アルミニウム・ 水酸化カルシウムなど) 20mm	T/# 6750-Rパーモサルシート 3mm×2層	無機繊維シート 1.7mm×2層	T/# 5535-F フリー耐熱コンパウンド 6mm
吸 水 性	極 小	あり	あり	あり
施 工 性				~
耐 火 性 能 (リングバーナー式)	適 合	適 合	適 合	適 合
使 用 箇 所	主に直管部	主に直管部	主に直管部	エルボ部などの異形部

ラス不織布と不燃紙を貼り合わせたシート等を施工している。また、エルボ部などの異形部には、ロックウールとセメントを主成分としたT/#5535フリー耐熱コンパウンドを水練りしたものを施工している。

これらの工法では、防湿材の外側に耐火材を施工する構造となっているため、雨水などにより耐火材が吸水し、重量増加・体積膨張により耐火材が脱落する、防湿材・外装材に損傷が発生する、保冷材が劣化するなどの不具合が報告されている。

## 4. 新耐火保冷工法

### 4.1 新耐火保冷工法の構成

これらの不具合を解決するためには、耐火材を吸水しにくい材料に置き換え、なお且つ、耐火材を防湿材で保護することが考えられる。

従って、耐火材表面への防湿施工が容易で、且つ施工性に優れた材料を選定し、仕上がり施工厚さを増加させないことが最適な方法といえる。

ここで、耐火材選定時のポイントとして、

- ① 従来の耐火材と同等、またはそれ以上の耐火性能を有していること。(有機物よりも無機物が望ましい。)
  - ② 耐火材が吸水しにくいもの(独立気泡体)であること。
  - ③ 従来とほぼ同様の施工ができること。
  - ④ 断熱材としての機能を有していること。
- が挙げられる。

以上のものを満足する材料として、水酸化アルミニウム・炭酸カルシウムを主成分とし、独立気泡で構成された無機物を主成分とした発泡体が挙げられる。

この無機物を主成分とした発泡体と硬質ウレタンフォームの諸性質を表2に示す。

表2より無機主成分発泡体は、機械的強度、吸水率及び燃焼性は、硬質ウレタンフォームと同等の性能を有し、熱伝導率は、0.040(W/m・K)とポリスチレンフォーム保温材の熱伝導率とほぼ同等の断熱性能を有しており、断熱材とみなすことができる。

この無機主成分発泡体を耐火材として採用し、

表2 硬質ウレタンフォームと無機主成分発泡体の諸性質

項目	単位	保冷材 硬質ウレタンフォーム	耐火材 無機主成分発泡体
密度	kg/m <sup>3</sup>	35以上	80以上
熱伝導率	W/m・K	0.024以下	0.047以下
圧縮強さ	N/cm <sup>2</sup>	20以上	15以上
曲げ強さ	N/cm <sup>2</sup>	25以上	30以上
吸水量	g/100cm <sup>2</sup>	3.0以下	2.0以下
燃焼性	JIS A 9511	合格	合格

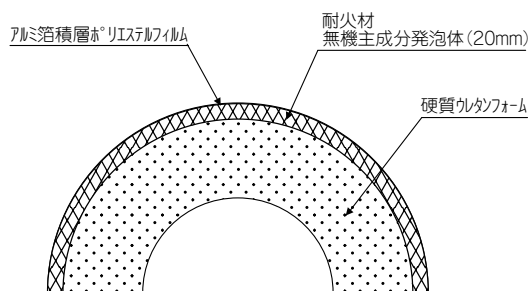


図1 T/#5001-TKフォームナートカバーTK概略図

この表面に防湿材であるアルミポリエステル積層フィルム(ニチアスVシート)を張り付けたものと保冷材である硬質ウレタンフォームを一体成形したT/#5001-TKフォームナートカバーTK(図1)を開発した。

また、ウレタンサポートと硬質ウレタンフォームカバーの継目部や、硬質ウレタンフォームカバーの目地部などの異形部に施工する現場発泡用ウレタン原液によるフォームにも上述した耐火性能が必要となる。

従来の原液によるフォームを上述と同様の耐火試験を行なった場合、硬質ウレタンフォームが火炎にさらされた部分は着火し、炭化層が形成される。しかし、この炭化層は脆く、継続して火炎を当て続けると分解・消滅し、裏面鋼板の表面温度が上昇することが確認されている。

そこで、原液の改良のポイントとして

- ① 火炎が着火した部分に形成された炭化層が堅牢であり、それ以上、火炎の進行を阻止することができるフォームが生成すること。
- ② 発泡剤として現在使用しているHCFC-141b

を用いた配合で対応できること。

- ③ 発泡後の物性値が、JIS A 9511-1995発泡プラスチック保温材 硬質ウレタンフォーム保温筒2号に適合していること。
  - ④ 施工性が、従来のT/#5003フォームナートSNBと同等であること。
- などが挙げられる。

上記、②、③、④の条件に適合した発泡原液として、T/#5003フォームナートSNB（超難燃フォーム）が挙げられる。

また、条件①については、ASTM D 3014に規定されているバトラーチムニーテストにて試験を行なった。

この試験は、試験体に火炎を10秒あて、そのときの火炎高さ、燃焼時間、重量保持率を測定するものである。T/#5003フォームナートSNB及び一般用現場発泡原液を発泡させた試験体でバトラーチムニーテストを行なった結果を表3に示す。

重量保持率で一般用現場発泡原液は、10%以下であるがT/#5003フォームナートSNBは、約70%と燃焼時に生成された炭化層が溶融・消滅することなく残存していることから、現場発泡用ウレタン原液として採用できると判断される。

## 4.2 特徴

T/#5001-TKフォームナートカバーTKを耐火保冷工法として採用する場合、無機主成分発泡体も断熱材とみなすため、あらかじめ耐火材の厚み、保冷設計条件を加味した設計を行なわなければならない。

また、無機主成分発泡体の熱伝導率0.040(W/m・K)は、硬質ウレタンフォームの熱伝導率0.024(W/m・K)に対し約2倍である。(硬質ウレタンフォームより約2倍熱を伝えやすい)。そこ

表3 バトラーチムニーテスト試験結果

	ASTM D 3014 規格値	SNB	一般用 現場発泡PUF
密度 (kg/m <sup>3</sup> )	35以上	42	44
残炎時間 (sec)	20以下	14	34
火炎高さ (mm)	450以下	420	550以上
重量保持率 (%)	68以上	72	15

で、硬質ウレタンフォームの厚みを10mm減らし、この10mm分の保冷性能を耐火材で補う構造とする。すなわち、耐火材の厚みは10mm×2=20mm必要となり、この厚みは、配管サイズに関係なく一定の厚みとなる。

但し、10mm増加することから配管・機器に設置するサポート類の寸法を考慮する必要がある。

よって、T/#5001-TKフォームナートカバーTKを用いた耐火保冷工法は、保冷厚さが+10mmとなり、従来工法（保冷厚さ+3mm×2層=保冷厚さ+6mm：T/#6750-Rパーモサルシートの場合）とほぼ同等の仕上がりとなるが、従来工法では、耐火材の継目部をラップさせるので、この部分では耐火材の厚みが3mm×4層=12mmとなり、外装材施工後の仕上がりは新工法の方が小さくなる。

## 5. 燃焼試験

新工法が製造細目告示に示されている耐火条件を満たすことを確認するため、6Bの配管を用い、リングバーナー式の燃焼試験を実施した。

リングバーナー式燃焼試験装置を図2に示す。

ここでは、名古屋地区LNG受入基地の保冷配管を対象にした試験結果について示す。

### 5.1 試験体

名古屋地区LNG受入基地での保冷設計条件は、「保冷施工した配管保冷表面温度が、外気温度31℃、相対湿度85%での露点温度28.2℃を下回らないこと。」であり、この場合の6B配管の保冷厚さは110mmである。よって、新工法での保冷厚さは10mm増加することから120mmとなる。

今回、性能比較のため、T/#6750-Rパーモサルシート及び無機繊維シートを耐火材とした従来工法についての燃焼試験を行なった。

試験体の構造を表4に示す。

### 5.2 試験方法

試験方法は、以下の手順にて行なった。

- ① 試験体をリングバーナー式燃焼試験装置に固定し、火炎温度を900℃以上になるように調整した。
- ② 燃焼時間は60分とし、燃焼時間中の各測定位置の温度を記録した。

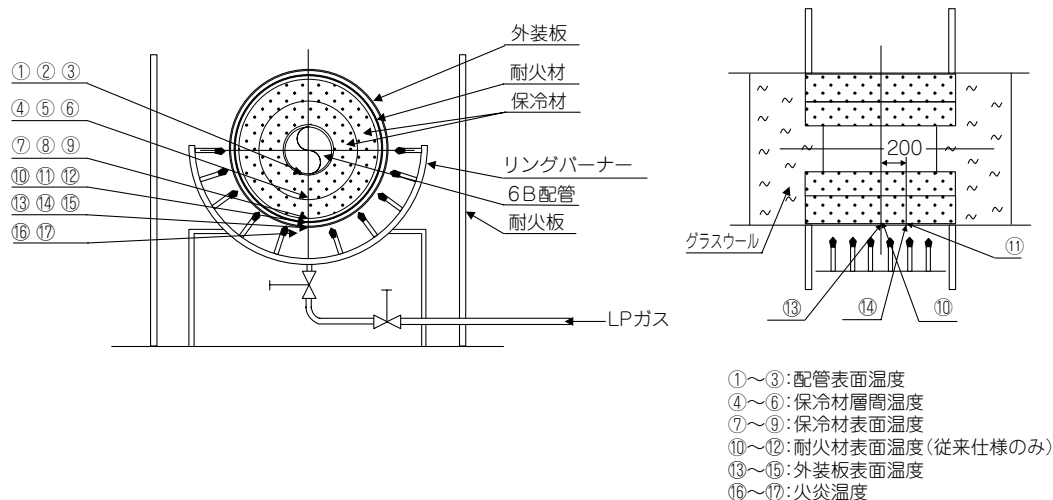


図2 リングバーナー式耐火試験装置及び熱電対取付位置

表4 燃焼試験体

		新 工 法	従 来 工 法 1	従 来 工 法 2
保冷材	内層保冷材	T/# 5001-S フォームナートカバー-S 6B x 49mmt	T/# 5001-S フォームナートカバー-S 6B x 49mmt	T/# 5001-S フォームナートカバー-S 6B x 49mmt
	外層保冷材	T/# 5001-TK フォームナートカバー-TK 10B x 71mmt (外層側) 無機主成分発泡体20mmt (内層側) 硬質ウレタンフォーム: 51mmt	T/# 5001-V フォームナートカバー-V 10B x 61mmt	T/# 5001-V フォームナートカバー-V 10B x 61mmt
耐火材	無機主成分発泡体 20mmt	T/# 6750-R パーモサルシート 3mmt x 2層	無機繊維シート 1.7mmt x 2層	
防湿材	ニチアスVシート (アルミ・ポリエステル積層フィルム)	ニチアスVシート (アルミ・ポリエステル積層フィルム)	ニチアスVシート (アルミ・ポリエステル積層フィルム)	
外装板	着色亜鉛鉄板 0.4mmt	着色亜鉛鉄板 0.4mmt	着色亜鉛鉄板 0.4mmt	
試験体概略図				

③ 試験完了後、試験体を解体して燃焼状態を写真にて記録した。

### 5.3 試験結果

燃焼開始から30分、60分経過した時の配管表

面温度を表5に、実測した温度をグラフ化したものを図3～5に示す。

表4よりすべての測定位置において配管表面温度は350℃以下となることが確認された。



表5 燃焼試験結果

試験体名称	試験体No.	測定位置	初期配管 表面温度( )	配管表面温度( )		初期温度との差 T( )	
				30分後	60分後	30分後	60分後
新工法	①	配管下部中央	9.8	11.0	27.4	1.2	17.6
		配管下部中央より200mm	10.0	12.8	32.8	2.8	22.8
		配管側面	9.8	12.4	22.4	2.6	12.6
	②	配管下部中央	12.3	13.8	61.6	1.5	49.3
		配管下部中央より200mm	12.0	13.6	52.5	1.6	40.5
		配管側面	12.4	13.9	73.1	1.5	60.7
	③	配管下部中央	0.0	2.0	4.6	2.0	4.6
		配管下部中央より200mm	0.3	3.7	6.7	3.4	6.4
		配管側面	0.4	2.8	5.3	2.4	5.3
従来工法1	①	配管下部中央	11.1	12.4	17.0	1.3	5.9
		配管下部中央より200mm	12.8	14.4	18.6	1.6	5.8
		配管側面	11.5	13.2	16.1	1.7	4.6
	②	配管下部中央	7.0	8.8	12.8	1.8	5.8
		配管下部中央より200mm	7.0	9.2	13.1	2.2	6.1
		配管側面	7.3	9.2	11.2	1.9	3.9
	③	配管下部中央	- 3.5	- 3.4	106.0	0.1	109.5
		配管下部中央より200mm	- 3.4	- 0.3	58.5	3.1	61.9
		配管側面	- 3.4	- 2.0	35.7	1.4	39.1
従来工法2	①	配管下部中央	2.1	13.3	127.0	11.2	124.9
		配管下部中央より200mm	3.1	11.1	87.1	8.0	84.0
		配管側面	2.9	8.8	86.0	5.9	83.1
	②	配管下部中央	11.4	13.7	76.7	2.3	76.7
		配管下部中央より200mm	12.6	15.4	77.7	2.8	65.3
		配管側面	11.9	14.3	46.4	2.4	34.5
	③	配管下部中央	10.6	11.9	65.0	1.3	54.4
		配管下部中央より200mm	10.3	13.4	30.8	3.1	20.5
		配管側面	10.5	12.0	48.0	1.5	37.5

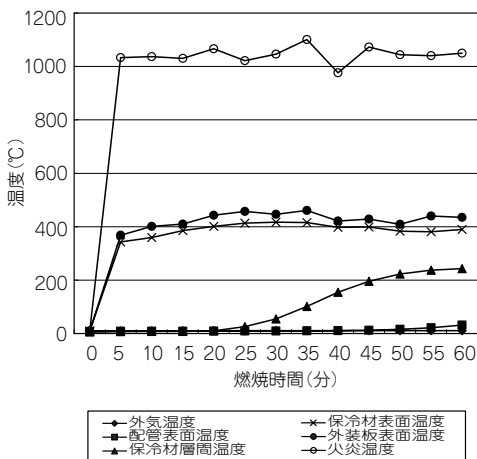


図3 新工法燃焼試験結果

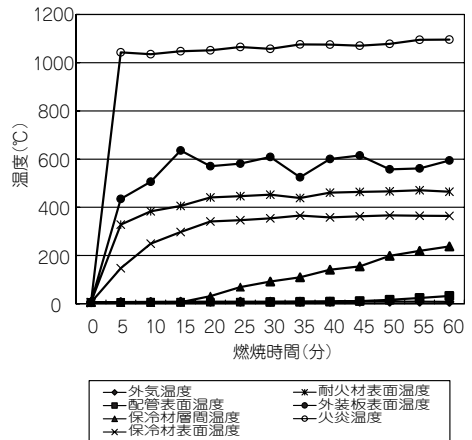


図4 従来仕様1燃焼試験結果 (耐火材: T/# 6750-R  
パーモサルシート)

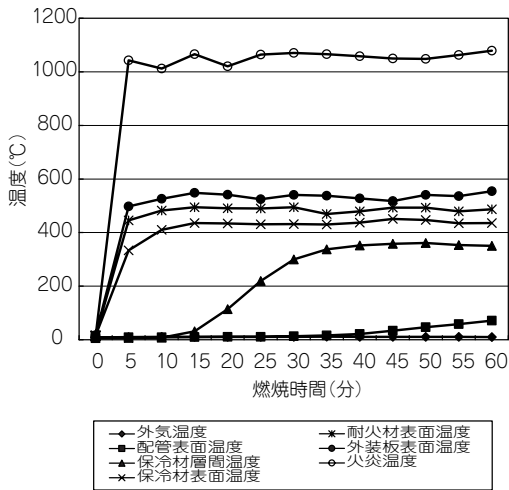


図5 従来仕様2燃焼試験結果 (耐火材：無機繊維シート)

また、各工法の燃焼開始から30分後の配管表面温度に差は認められなかったが、層間温度に差が認められた。新工法は、20～35分の間で、従来仕様1では、20～30分の間で保冷材層間温度が上昇し始めているのに対し、従来仕様2では、10～20分と極めて短時間で上昇を開始している。更に、燃焼開始から60分後の配管表面の最高温度は、新工法で73℃、従来仕様1で106℃、従来仕様2で127℃となった。

よって、新工法は従来工法と同等の耐火性能を有し、高圧ガス保安協会の自主基準に満足することが確認できた。

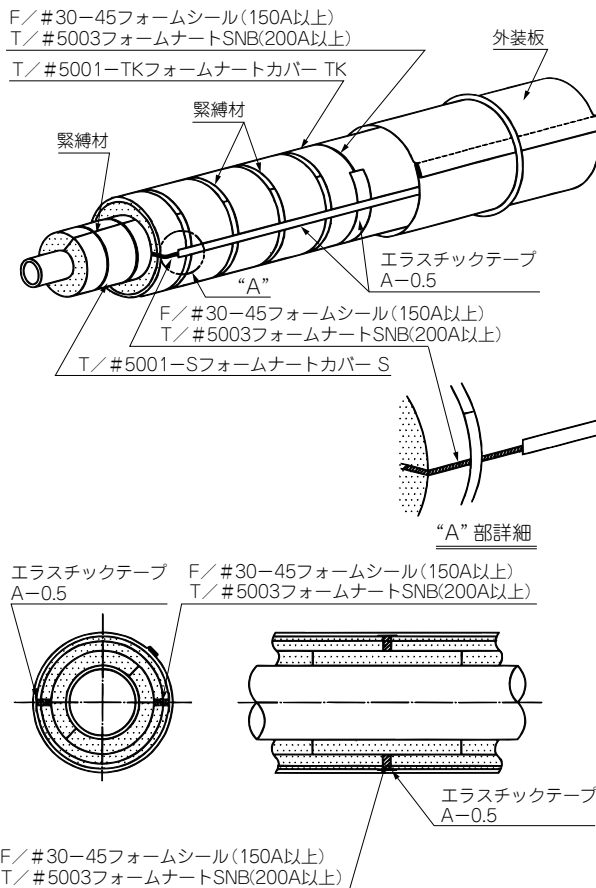


図6 新耐火保冷工法推奨構造

## 6. おわりに

T/#5001-TK フォームナートカバーTK及びT/#5003フォームナートSNBを併用した耐火保冷工法を紹介した。

従来工法の性能上の問題を解消するとともに、保冷材と耐火材の取付け施工が一工程で実現でき、保冷工事の省力化・工期の短縮が出来るなどの特徴がある。

今後とも需要家各位のご意見、ご要望を賜り、改良・開発に取り組んでいきたい。

## 参考文献

- 1) 高圧ガス保安協会 昭和44年11月初版 KHK-S-0201「高圧ガスの球形貯槽に関する基準」
- 2) 高圧ガス保安協会 KHK-S-0303昭和48年8月第2版「安全弁の適用基準」
- 3) 高圧ガス保安協会 昭和46年3月初版KHK-S-0707「断熱に関する基準」
- 4) 高圧ガス保安協会 平成9年12月初版「高圧ガス保安法関係講習テキスト」

## 筆者紹介



菊池 四郎

A・E事業本部 MD一部 部長



勝吉 憲幸

A・E事業本部 MD一部