

耐火・耐冷被覆の概要と最近の動向

Introduction and Recent Trend of Fireproofing and Cryogenic Proofing

廣谷 佳範, 日野 裕介
Yoshinori Hiroya, Yusuke Hino

プロセス技術本部 HSE システム部
HSE Systems Department, Process Technology Division

要旨

オイルアンドガスプラントの安全性確保ために、耐火被覆を安全上重要な構造体物や計装・電気設備に施すことは古く広く行われてきた。一方で近年の安全意識の高まりに伴い、対象範囲を決められたルールに基づいて決定するのではなく、火災のシミュレーション結果に応じて決定することが増えてきている。また、LNG プラントでは、漏えいした極低温流体が鉄骨構造物等と接触し脆化を引き起こすことを懸念し、耐冷被覆を施すことが一般的になってきている。本稿では、対象を構造物に絞り、耐火・耐冷被覆について概要と、近年の傾向及び今後の展望を解説した。

Abstract:

Passive Fire Protection is commonly applied for oil and gas plants to protect against fire incidents and to ensure the safety of the plant. Because the fire risk area is very large in the process areas of hydrocarbon handling plants, the cost of passive fire protection is very high. Not only the cost, but the schedule for passive fire protection application is also a concern for JGC. In addition to the passive fire protection, protection against the cryogenic leakage is also required in recent years, especially in LNG plants. This article provides a general explanation about passive fire/cryogenic protection, and introduces predictions in this area.

1. はじめに

当社が取り扱うオイルアンドガスプラントにおいては、プラントの安全性確保のための一つの手段として、重要な構造物に対して耐火被覆を施すことが一般的である。ハイドロカーบอนを扱うプラントのプロセスエリアは大部分が火災の起こり得るエリアとなるため、対象範囲が広く、使用する材料によっては非常に高価になる。また、施工にも時間がかかるため、スケジュールに与える影響も大きい。一方で、耐火被覆の対象範囲や耐火時間等の決定方法は、従来は機器の大きさ等の閾値を決めて一義的に決定していたが、近年は火災の発生確率、影響範囲等を解析し、その結果と想定される被害規模に基づいて対象範囲と耐火時間を決めることが多くなり、決定時期が遅くなるといった問題点も指摘されている。さらに、近年は、火災に対する耐火だけでなく、LNG 等極低温流体の漏えいに鉄骨構造物が触れることにより、構造物が低温脆化する危険性が広く認識され、耐冷被覆を施すことも多くなってきている。

範囲決定方法の変化、耐冷への対象拡大、さらには施工時間短縮のために、必要とする厚みを薄くする等耐火材料・耐冷材料の改良も進んでいる。本稿では、第2章にて耐火被覆の概要を説明し、近年の傾向、現状の問題点及び今後の課題をまとめる。第3章にて耐冷被覆について同様のことを説明し、最後にまとめを述べる。

2. 耐火被覆

Passive Fire Protection (PFP) である耐火被覆の目的は、発生した火災の2次的被害を防止し、本格的な消火対応ができるまでの時間を与えることであり、火災の発生そのものを予防したり、火災時の炎や輻射熱を抑制したりするものではなく、また火災時の炎や輻射熱に限りなく堪え得るものでもない。耐火被覆は、構造物が火災時に炎に晒された際に構造物を保護し、その機能を一定時間保持することを目的としている。



Fig.1 Example of Concrete Fireproofing Application on Structure

2. 1 従来からの耐火被覆の考え方 (耐火時間・耐火範囲)

耐火被覆の考え方は、国際規格である API PUBLICATION 2218, Fireproofing Practices in Petroleum and Petrochemical Processing Plant (以下 API 2218)に示されており、以下の内容がガイドラインとして記載されている。

- (a) 火災の発生源となる機器 (Potential Source of Leakage: PSL)
- (b) その火災の発生源から発生する、耐火を必要とする範囲 (Fireproofing Zone: FPZ。なお、プロジェクトにより、Fire Scenario Envelope、Fire Potential Area、Fire Hazardous Zone など呼称が異なる)
- (c) 火災時に強度を保つ必要のある時間 (耐火時間)

上記(a)(b)(c)は、耐火被覆の設計を決める重要な事項であり、これらの事項に基づき最終的な施工範囲と厚みを決定していく。オイルメジャーは、API 2218 を基に独自のスタンダードを構築し、上記(a)(b)(c)を決定する条件を別途規定していることが多い。火災の種類には、大きく分けて漏えいした可燃性物質が地面等に溜り、そこに着火して燃えるプール火災と、フランジ等から漏えいしている、圧力を保持した可燃性物質に直接着火して燃えるジェット火災がある。

API 2218 はプール火災のみを対象としているため、(a)火災の発生源となる機器についてはプラントを構成する機器の情報 (種類、容量、設置位置) と、PFD レベルの流体の情報に基づ

き比較的設計初期に決定することが可能である。同様に(b)耐火を必要とする範囲、(c)耐火時間については、漏えいした流体の溜まる場所（地面やダイク内）に応じて決定することができる。API 2218 の要求の概略を参考までに Table 1 にまとめた。

Table.1 Summary of Key Requirements in API 2218

Item	Description in API 2218 <i>(NOTE: 概要理解を目的としているため、簡略化して記載している)</i>
Potential Source of Leakage	<ul style="list-style-type: none"> - Fired heater handling process liquid or mixed-phase hydrocarbons - Pump with a rated capacity over 45m³/hr that handle liquids above or within 8°C of their flash point temperature - Reactors - Compressors together with related lube oil system - Vessels, heat exchangers and other equipment containing flammable or combustible liquids over 315°C or their auto-ignition temperature, whichever is less.
Extent of Fireproofing	Horizontal: 6m to 12m Vertical: 6m to 12m
Duration of Fireproofing	Minimum 1.5 hr

2. 2 オフショアから派生した近年の耐火被覆の考え方

前章で API 2218 はプール火災のみ対象としたガイドラインであること、従来はプール火災に対する耐火のみ考慮することが一般的であることを述べたが、オフショアプラントでは敷地面積が小さく離隔距離が十分に取れないこと等の理由により、耐火被覆による安全性確保がオンショアプラントよりも重要視されてきた。従って、対象とする火災もプール火災だけでなく、ジェット火災も含み、その傾向はオンショアプラントにも広がってきている。ジェット火災は、プール火災とは異なりフランジやバルブのシール部分すべてが火災の発生源となり、かつ火災の方向も限定できないため、耐火対象範囲の特定が困難になる。また、圧力が高い場合は、ジェット火災の影響を受ける範囲が 100m 以上と広範囲となるが、すべてに耐火被覆を行うことは現実的ではない。

そこで、ジェット火災を対象とするプロジェクトでは、ジェット火災の影響をリスクという観点で評価し、リスクの高い範囲に限定して耐火被覆を行うことが一般的である（本稿ではリスク評価の手法等の説明は省略する）。プール火災とジェット火災については、範囲の決定方法だけでなく、火災の性質としては Table 2 にまとめたような違いがある。主な違いは、ジェット火災は到達温度が高く、圧力を保持している点であり、それらに耐える材料を選定することが必要になる。それぞれの火災タイプに対する耐火被覆材料のテスト方法はすでに規格化されており、これらの規格に基づいて第三者機関によって認証された材料を使用する必要がある。

Table.2 Comparison of Pool Fire and Jet Fire

Fire Type	Approximate Fire Temperatures	Approximate Time to Reach Fire Temperature	Pressure	Test Method
Pool Fire	1,100°C	5 mins	No	UL 1709, ISO 834-3, BS 476 Part 20 and 21
Jet Fire	1,350°C	5 mins	Yes	ISO 22899-1

2. 3 耐火被覆材料の変遷

耐火被覆材とは、一般的に対象物を耐火するために被覆するコンクリートや合成樹脂である。また、施工された耐火被覆材の物理的耐久性を向上させるために、補強材が必要である。例えば、コンクリートの場合は内部に鉄筋を、Intumescent の場合は層内にメッシュを施工する。耐火被覆材は主に以下の 3 種類に分けられる。各タイプの特徴を Table-3 にまとめた。

- Dense Concrete (Fig.1 参照)
- Lightweight Cementitious (Fig.2 参照)
- Intumescent (Fig. 3 参照)

Table.3 Comparison of Passive Fire Protection Materials

Criteria		Dense Concrete	Lightweight Cementitious	Intumescent
Installed Weight (Typical)		Heavy (75 kg/m ²)	Medium (24 kg/m ²)	Light (10 kg/m ²)
Application Method		Formwork	Spray	Spray
Reinforcement (Mesh)		Required	Required	Required / Not required
Corrosion resistance under fireproofing material		Medium	Medium	High
Strength	Impact Resistance	Good	Poor	Excellent
	Bonding	Medium	Low	Very High
	Expansion & Contraction	Poor	Poor	Excellent
Fire Resistance	Pool Fire	Yes	Yes	Yes
	Jet Fire	Explosive Spalling	Yes	Yes
	Explosion	Good	Good	Very Good
Transport	Flexibility	Poor	Poor	Good
Cost	Initial Cost	Low	Medium	High
	Life before 1 st Maintenance	10 Years	5 – 10 Years	20 Years

従来の Stick-built (現場施工型)プロジェクトの場合、初期コストが比較的安価である Dense Concrete や Lightweight Cementitious が選定されることが主流であった。しかし近年のモジュールやオフショアプロジェクトでは、輸送時や運転中に起こり得る振動や衝撃等への耐性、軽量化の必需性、補修頻度の減少や要領の簡素化等、様々な要因を考慮した結果、軽量で曲げへの高い追従性から Intumescent が選択されるケースが増加している。よって、以下 Intumescent 材料を中心に解説する。



Fig.2 Lightweight Cementitious

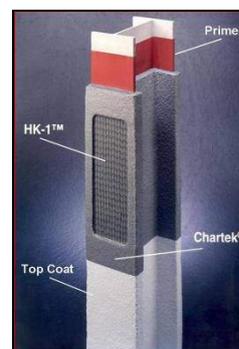


Fig.3 Intumescent

Intumescent の起源は、1970 年代にアメリカ航空宇宙局 (National Aeronautics and Space Administration – 通称 NASA) が、アポロ宇宙船の司令船 (Command Module) を、大気圏再突入時の上昇熱から保護するために開発されたとされている。製油所や化学工場等、エネルギー産業の分野で使用され始めたのは 1990 年代以降である。

Intumescent が耐火被覆材料として、コンクリート、セメントタイプと大きく異なるのは、その原理と仕組みにおいてである。Intumescent は火災時の熱により、5~10 倍に膨張し、断熱材として機能する炭化物層を形成する事で、鋼材自体の温度が耐火要求時間内に限界温度に達することを防ぐ (Fig.4 参照)。一方で、コンクリートやセメントタイプ同様、Intumescent もその層内に補強材としてメッシュを施工するタイプのものが現在は主流である。しかし、この補強材の施工に手間がかかる事が今日課題とされており、各材料メーカーは、補強材を必要としないタイプの Intumescent の開発にも注力している。(一部の材料メーカーは既に補強材なしの耐火被覆材料を発売している。)

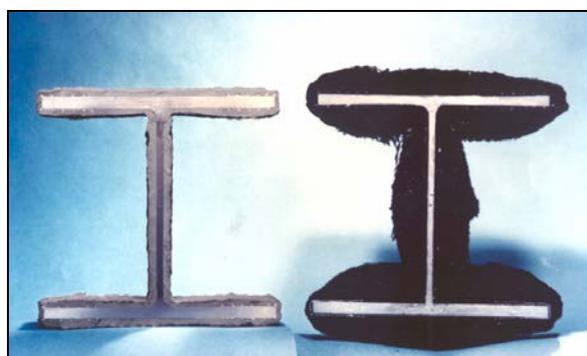


Fig.4 Expansion of Intumescent



Intumescent の施工は、一般的な重防食塗料と同様にスプレー塗装(Fig. 5 参照)が通常であるが、予め成型可能なタイプやボルト接合部用のキャップ式等も存在する。これにより、オイルアンドガスプラント等に使用される機器や、鉄骨のボルト接合部等、複雑な形状の対象への施工の簡素化を可能とし、フランジやバルブ等に対する定期的な検査時の耐火被覆材の破壊・再施工も不要となる。



Fig. 5 Spray Application

3. 耐冷被覆

3. 1 耐冷被覆の広がりと考え方

LNG プラント等極低温流体を扱うプラントでは、極低温流体の漏えいによる鉄骨支持部材の脆化の危険性があり、極低温流体の漏洩により起こり得る二次的な危機や災害を回避するための方法として、耐冷被覆を施すことが増えてきている。近年の浮体式液化天然ガスプラントの開発における最重要課題の一つとして、主にオイルメジャーや一部のナショナルオイルと EPC コントラクターが中心となり研究・調査している新しい課題である。耐冷性能は保護すべき部材の最低許容温度、想定する極低温流体の温度及び想定する漏えい継続時間によって決定されるが、耐火に対する API 2218 のような国際規格・ガイドラインが存在しないため、リスク評価を行い耐冷被覆範囲及び耐冷性能を決定することが一般的になっている。なお、耐冷被覆が要求される範囲は、対象とする極低温流体が可燃物 (LNG, LPG 等) であるため、多くの場合同時に耐火性能も求められることになる。

3. 2 耐冷被覆材料の開発

耐冷被覆材料として、オランダの Akzo Nobel 社 (International Paint 社) の Intertherm 7050 (断熱塗料) と Chartek (Intumescent 耐火被覆材) に代表されるように、2 層システムが陸上プラントで使用され始めた。元来 2 層システムとは、100℃前後の耐熱性能しか有していない耐火被覆材を、それ以上の運転温度域で使用するために断熱塗料を下層に用いることにしたシステムである。この技術と材料を応用し、極低温流体に対する耐性及び鋼材を保護する目的のための研究と実験を材料メーカーが積極的に取り組むようになり、今日に至っている。

試験方法に関して前章でも述べたが、現時点では耐冷被覆材の性能や保護条件を定めている国際規格は存在していない。このため、客先や EPC コントラクターが想定したシナリオに対して、実際の試験に基づいて性能を証明している。また、材料メーカーが様々な案件を通して得た情報と独自に重ねた研究及び大学や第三者機関との協力によって得た知識を元に、試験方法を考案・実施し、データを蓄積している最中である。

耐冷被覆材は極低温流体と接した場合、2.3章で述べた耐火被覆材のように、その形状や物性が変化して、鋼材温度の急激な低下を防ぐというものではない。耐冷被覆材は、施工された際に、その層内に熱伝導率の低い物質層を有する等、熱の伝達を遅らせることにより、鋼材が規定の耐冷時間内に極低温に達しないよう保護する。即ち、耐冷被覆材とは、各材料メーカーによって、耐冷目的で開発された材料ではなく、元来熱伝導率の低さにより、断熱塗料として使用されてきた超厚膜型（10mm~30mm）の塗膜層の耐冷性能を再評価し、実用に結び付けてきた材料である。

一方で一部の材料メーカーでは、炎の熱の伝達を防ぐ事が可能な耐火被覆材の耐冷性能を調査し、これを耐冷被覆材として位置付けている場合もある。しかしながら、耐火被覆材はその形状と物性の変化により、最大の断熱性能を発揮することが基本であり、変化前の層自体の断熱性能は断熱塗料ほど高くはなく、耐冷被覆材として施工する場合、施工膜厚が厚くなる傾向にある。

耐冷被覆は、耐火被覆の施工対象範囲に適用されるケースも多いことから、断熱塗料と耐火被覆材の2層システムの仕様が主流であった。2層システム採用の理由は、上記でも述べた膜厚の増加や試験方法に関する明確な指針の欠落、耐火被覆材の耐冷被覆材としての性能に関するデータの不足等、様々な要因によるものでもある。しかし、今日では施工性及び生産性の向上、コスト削減のため、各方面からの様々な情報や調査結果を元に行った開発により、2層システムではなく、耐火被覆材自体の耐極低温流体性能を向上させ、1層システムでの対応も可能になってきている。

4. まとめ

安全に対する関心の増加及びオフショアプロジェクトの増加により、リスク評価を元とした耐火・耐冷被覆は安全対策の一つとして引き続き重要度が増していくと考えられる。当社は本件に関する情報・技術力の蓄積を継続し、競争力強化、プラントの安全性確保に貢献していく所存である。