

エアロジェル保温材による「増し保温[®] 工法」の紹介

基幹産業事業本部 プラント営業部 黒坂和弥

1. はじめに

我が国のプラントは、建設から30年以上経過した設備の老朽化が進んでいる。プラントに施工されている保温材は、プラント建設以来そのままの状態になっている。その代表的なものが、蒸気配管用の保温材であり、保温材から熱ロスが発生している。

また、1973年の第一次オイルショック以降、それまで内部温度149℃以上の機器、配管等の箇所で使用されていた保温材が、省エネルギーの観点から100℃以下の温度領域まで保温されたことで、保温材に水が長期にわたって滞留し易くなり、新たにCUI (Corrosion under Insulation) といわれる保温材下配管外面腐食の発生も問題になっている。

本稿では、こういった熱ロス・CUIの問題解決や脱炭素化へ貢献が期待できる工法として、増し保温工法について紹介する。

2. 保温材の劣化

保温材の劣化は、雨水などが浸入し含水によることが知られている。

保温材は、『JIS保温』に熱伝導率の低い空気を閉じ込めて断熱している材料、空隙率90%以上、常温において、熱伝導率0.065W/(m・K)以下の材料と定義されている。

常温20℃で測定した、含水率が0vol% (絶乾状態)のけい酸カルシウム保温材熱伝導率は0.05W/(m・K)、10vol%含水すると熱伝導率は2倍の0.1W/

(m・K)となり、20vol%含水で3倍となる。

『JIS保温』の定義から、10vol%含水したけい酸カルシウム保温材は、既に保温機能が喪失しており、含水は保温材劣化の一因である。

3. 保温材パイロジェル[™] XTEの紹介

従来の保温材であるけい酸カルシウム保温材、ロックウール保温材などが含水状態から乾燥させ保温機能維持に使用するエアロジェル保温材を紹介する。

エアロジェルは、ゲル中に含まれる溶媒を超臨界乾燥により気体に置換した多孔性の物質の総称である。

代表的なエアロジェル保温材として米国Aspen Aerogels, Inc.製のパイロジェル XTEがある。パイロジェル XTEは、ガラスマットを基材としエアロジェルを含浸させた保温材である。特長は、従来の保温材と比較して低熱伝導率で、フレキシブル、はっ水性、水蒸気透過性を有する(図1, 2)。

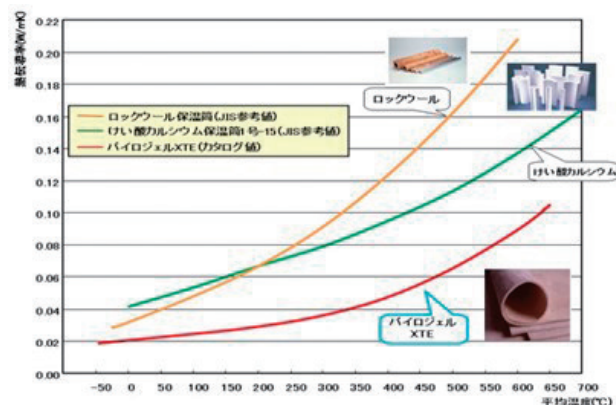
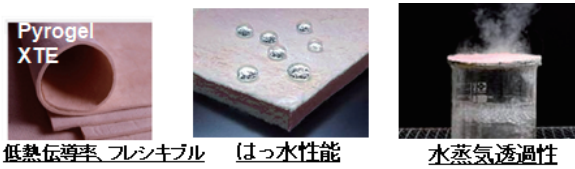


図1 他保温材とパイロジェルXTEの熱伝導率比較



低熱伝導率、フレキシブル、はっ水性能、水蒸気透過性

図2 パイロジェルXTEのその他特長

4. 増し保温® 工法の紹介

増し保温工法には、省エネ対策に重点を置いた工法(概要Ⅰ)と、CUI対策に重点を置いた工法(概要Ⅱ)がある。

4.1 増し保温® 工法 (概要Ⅰ)

概要Ⅰにおける施工は、いたって簡単である。施工は、劣化した既設従来の保温材と既設外装材の外周にパイロジェル XTEを巻き付け、新規外装材を取り付けて完成する。熱ロスの問題を解決する省エネ対策として有効な工法である。

増し保温工法(概要Ⅰ)を図3に示す。

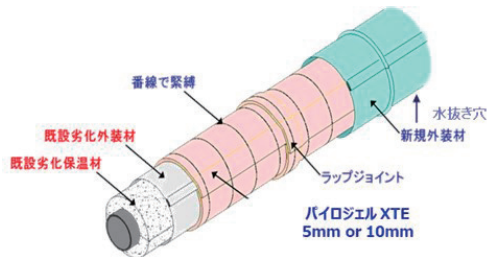


図3 増し保温® 工法 (概要Ⅰ)

4.2 増し保温® 工法 (概要Ⅱ)

概要Ⅱは、従来の保温材+パイロジェル XTEを1層巻き付けて複合構造とする工法である。配管内部温度が常温程度から150℃以下の温度用域に採用するCUI予防に重点を置いており、メンテナンスおよび建設時に省エネ対策、CUI対策の予防保全として推奨する工法である。即ち、従来工法の含水防止と保温機能維持を図った工法である。

増し保温工法(概要Ⅱ)を図4に示す。

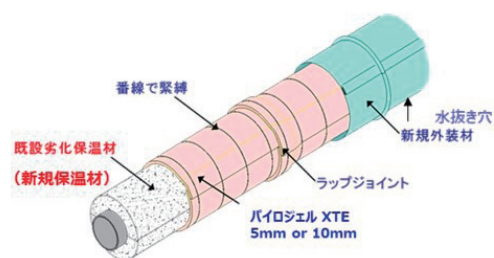


図4 増し保温® 工法 (概要Ⅱ)

5. 増し保温® 工法の効果

5.1 増し保温® 工法 (概要Ⅰ) の省エネおよび脱炭素効果

某化学工場の蒸気配管、配管長：約650m、配管径：80A～200A、けい酸カルシウム保温材75mmが施工されていた配管を対象に、増し保温工法を施工した実施例を紹介する。

対象の内部温度175℃の蒸気配管、設計時正常な保温材が施工された状態の放散熱量は、約40万kWh/年と推測される。施工前のサーモグラフィにより保温材の放散熱量は、設計時の約3倍の112万kWh/年に増加していた。増し保温工法を施工し約1カ月後の測定結果は、放散熱量44万kWh/年と低減され68万kWh/年の熱ロス回収となり省エネ効果の高さが証明された。これは、増し保温工法による既設保温材の機能回復と、パイロジェル XTEの保温性能と外部へ水分排出する蒸気透過性能が発現した結果と考えられる。

熱ロス削減の5年後、10年後の追跡調査の結果の放散熱量は、約39万kWh/年と改善された効果を維持され、継続的に安定した省エネ効果が確認された。追跡調査を実施した結果を図5に示す。

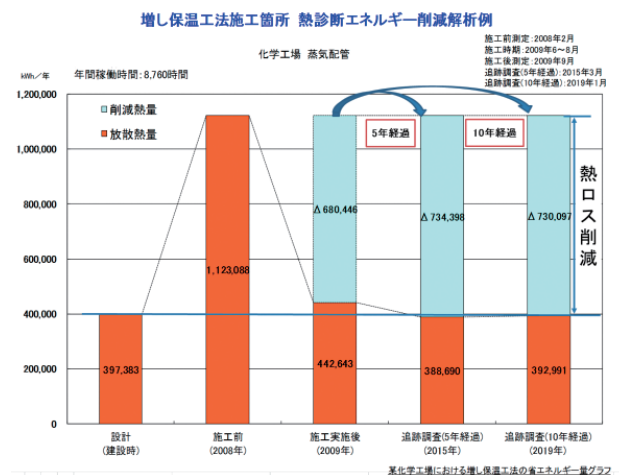


図5 増し保温® 工法 (概要Ⅰ) エネルギー削減解析

また、図5の結果から原油換算削減量、CO₂換算削減量を計算し表1に示す。

表1 増し保温施工後の原油換算CO₂換算削減量

項目	設計時 (建設時)	増し保温 施工前 (2008年)	増し保温 施工後 (2009年)	追跡調査 (5年経過) (2015年)	追跡調査 (10年経過) (2019年)	増し保温 施工後 (10年平均)
エネルギー 使用量 (kWh/年)	397,383	1,123,088	442,643	388,690	392,991	408,108
年間放散熱 削減量 (kWh/年)	-	-	△680,445	△734,398	△730,097	△714,980
年間原油 換算削減量 (kl)	-	-	△64.5	△69.6	△69.2	△67.8
年間CO ₂ 削減量 (ton)	-	-	△147.0	△158.6	△157.7	△154.4

5.2 増し保温® 工法 (概要Ⅱ) のCUI抑制効果

梅雨の降雨時期に、保温されている屋外実機プラント配管を試験に供し、各種保温構造における屋外暴露試験を実施した。CUIの抑制効果をACM (Atmospheric Corrosion Monitor) 腐食センサ、温湿度センサのデータより評価しCUI抑制効果の保温構造を検討した。

【試験条件】

○測定期間：2020年5月27日～8月3日

(日数：69日、降雨日37日)

○配管径：300A

(現状の保温仕様：ロックウール50mm)

○内部温度：55℃ (化学薬品設備配管)

【試験体の保温構造】

- ①けい酸カルシウム保温材 50mm
- ②ロックウール保温材 50mm
- ③パイロジェルXTE 20mm
- ④けい酸カルシウム保温材 50mm+
パイロジェルXTE 5mm
- ⑤ロックウール保温材 50mm+
パイロジェルXTE 5mm
- ⑥外気 (保温材を施工しない箇所)

【試験方法】

予め既設保温材を撤去し、同一配管上に、それぞれの保温構造で施工した。各保温構造を施工する箇所の配管頂部に、模擬ノズルを設置し、模擬

ノズルの両側にACMセンサを取り付け、片側に温湿度計を取り付け、各保温構造で施工後に外装材を取り付けた。模擬ノズルと外装材のクリアランスは、2mmと同一条件とした。参考に外気を測定するACMセンサ、温湿度計各1個を、配管サポート部に設置した。その状況を図6に示す。

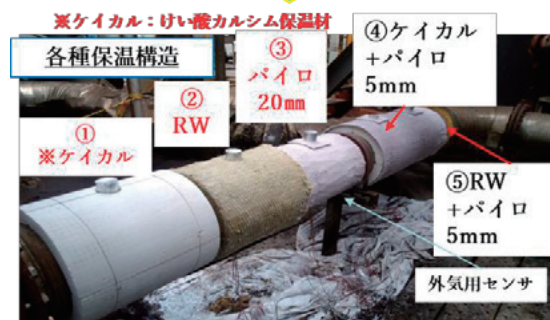
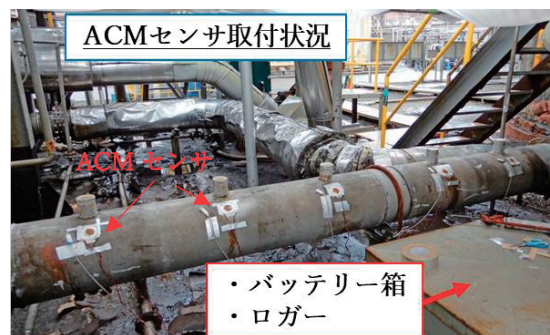


図6 屋外配管のCUI抑制効果試験状況

【ACMセンサによる評価方法】

加速試験として人工海水アクアマリン4%溶液を作成し、センサ表面に均一に1ml塗布し試験を実施した。

【ACMセンサの原理と構造】

基板 (Fe, 亜鉛メッキ銅板など) の上に絶縁ペーストをスクリーン印刷・焼成硬化し、さらにその上に絶縁が保たれるように導電性ペースト (Ag など) を積層印刷・焼成硬化する。これを、大気中に暴露すると、降雨や結露などによって両金属間に薄い水膜が形成されて、ガルバニック電流が流れる。この電流は腐食速度と良い相関関係があるので、大気環境の腐食性をモニタリングすることができる。ACMセンサの原理と構造を図7¹⁾に示す。

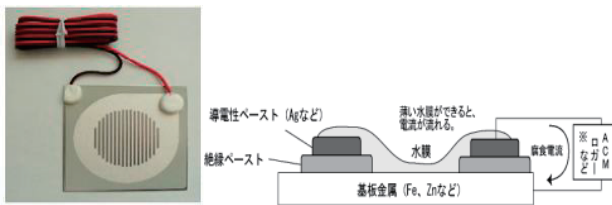


図7 ACMセンサの原理と構造

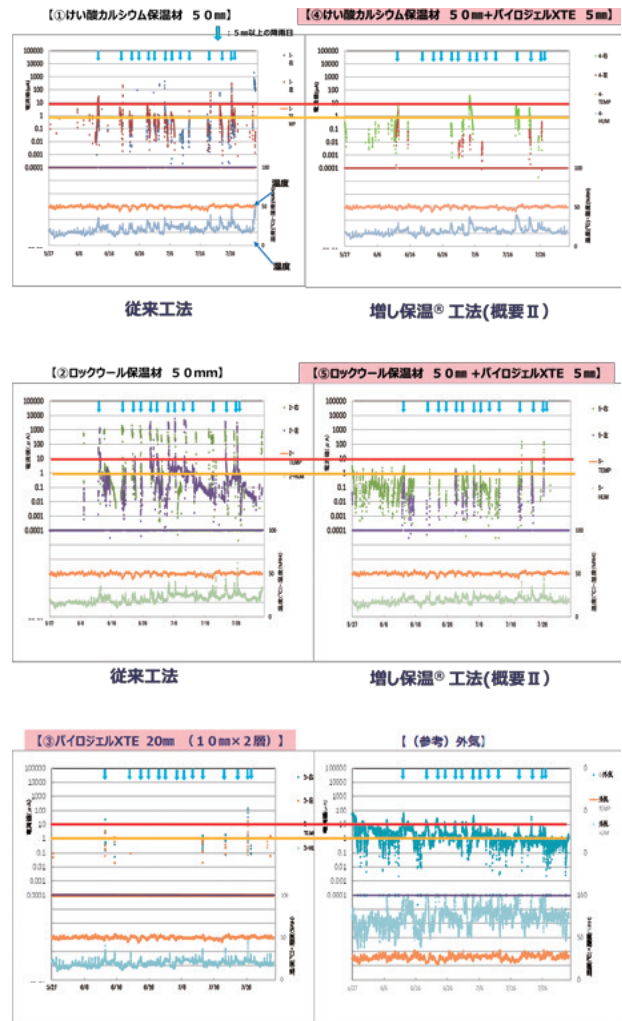


図8 ACMセンサと温湿度計のデータ

【試験結果】

各保温構造を対比して、ACMセンサと、温湿度計のデータを図8に示す。

グラフの読み方は、横軸が経過時間、縦軸の上半分がACMセンサのプロットした電流値 (μA)、下半分が温湿度計の温度と湿度、グラフ上部の「↓」は、降雨が5mmあった日を示している。ACMセンサのグラフに、 $10 \mu A$ 、 $1 \mu A$ に目安の赤と黄色の罫線を引いている。電流値 $10 \mu A$ を超えると腐食速度が速いことを表し、増し保温工法では概ね $10 \mu A$ 以下で推移している。

図8のデータから得られた情報をまとめた結果を、表2および図9に示す。

表2 ACMセンサデータ解析, 温湿度計データ

測定期間 (5/27 ~ 8/3期間)	①保温材	②保温材	③保温材	④保温材	⑤保温材	外気
各保温構造	けい酸カルシウム50	ロックウール50	パイロジェルXTE20	けい酸カルシウム50+パイロジェルXTE5	ロックウール50+パイロジェル5	-
(i) 総積算電気量Q(C)	8.3	138.8	0.21	0.52	0.50	14.2
(ii) 炭素鋼腐食速度 ($\mu m/y$)	104.1	302.2	26.1	36.6	36.1	138.0
(iii) 1mm腐食するのに要する年数 (年)	9.6	3.3	38.3	27.3	27.7	-
(iv) 平均温度 (°C) (配管外面)	50	50	50	50	50	27
(v) 平均湿度 (RH%) (配管外面)	21	21	19	19	19	74

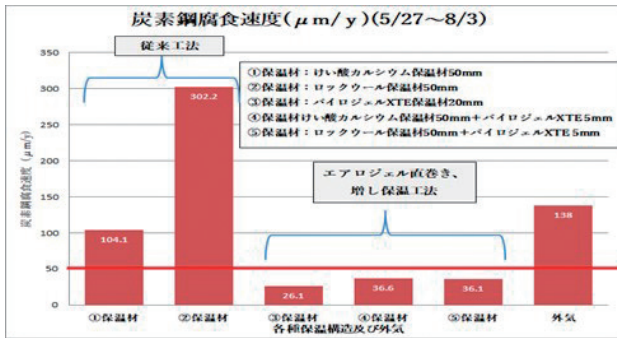


図9 各保温構造における炭素鋼腐食速度

【考察】

○表2の(ii)のデータより炭素鋼腐食速度比較
炭素鋼腐食速度の速い順番から並べると以下のようになる。

- ②ロックウール>①けい酸カルシウム>
- ④けい酸カルシウム増し保温≧⑤ロックウール増し保温>③パイロジェルXTE直巻き

○従来工法と増し保温工法(概要Ⅱ)の腐食速度 μm/yearを比較

- ①けい酸カルシウム/④けい酸カルシウム+パイロジェルXTE(増し保温)
= 104.1 / 36.6となり、増し保温工法は従来工法よりも約65%炭素鋼腐食速度を遅延させる効果があった。
- ②ロックウール/⑤ロックウール+パイロジェルXTE(増し保温)
= 302.2 / 36.1となり、増し保温工法は従来工法よりも約88%炭素鋼腐食速度を遅延させる効果があった。

本試験におけるデータでは、パイロジェルXTEを直巻き工法、増し保温工法(概要Ⅱ)で使用すると炭素鋼腐食速度の大幅な遅延効果が確認された。

6. おわりに

今回の各種保温構造を比較すると、エアロジェル保温材のパイロジェルXTEを使用した保温構

造が省エネ効果、腐食速度を遅延させる効果を有しているといえる。

増し保温工法(概要Ⅰ, Ⅱ)は、省エネ対策、CUI抑制の保温構造の一助になると、本試験で確認が得られた。

本稿で紹介した増し保温工法は、省エネルギー・脱炭素化に貢献できる工法です。今後は、予防保全の施工方法として、省エネ効果・CUI抑制効果を有するパイロジェルXTE増し保温工法(概要Ⅰ, 概要Ⅱ)の標準仕様化を推奨します。


本内容に関するお問い合わせは、基幹産業事業本部・プラント営業部までお願いいたします。

参考文献

- 1) 公益社団法人腐食防食学会「材料と環境」No.4 2018 Vol.67 腐食の電気化学測定法の応用『ACM型腐食センサ』・株式会社シュリンクスHP <https://www.syrinx.co.jp/acm-spec/about-acm.htm>
- 2) 第50回日本芳香族工業会大会発表論文『CUI対策・省エネ対策の保温構造』
- 3) 第55回日本芳香族工業会大会発表論文『CUI抑制効果の保温構造』

*「増し保温」はニチアス(株)の登録商標です。
*「パイロジェル」はAspen Aerogels, Inc. の製品で同社の商標です。
*本稿のデータは参考値であり、保証値ではありません。

筆者紹介



黒坂 和弥

基幹産業事業本部
プラント営業部
一級施工管理技士(建築, 土木)