

## 〈工法紹介〉

保温機能を回復させ、省エネに貢献する

# 「e'-AIM®工法」

エコ-エイム

工事事業本部 エアロジェル事業推進チーム

### 1. はじめに

当社は、「断つ・保つ」をキーワードに、保温・断熱分野のパイオニアとして、各種プラント・発電所・工場など、産業界のあらゆるお客様に、熱を「断つ・保つ」技術を通して「省エネ」を提供しています。

e'-AIM®工法は、既に保温材と外装材（通常、金属製）が施工された配管の上に高性能保温材を巻き付けて既設保温材の機能を回復させる工法です。e'-AIM®工法は、保温性能の回復・向上だけではなく、配管の外面腐食を低減させる効果もあり、さらには既設保温材を撤去する必要がないため、産業廃棄物の削減やトータルメンテナンスコストの低減が図れる工法です。

本稿では、このe'-AIM®工法に使用する高性能保温材パイロジェル™XTの紹介とe'-AIM®工法の特徴、効果などについて、施工実例を交えて紹介します。

### 2. 高性能保温材パイロジェル™XT

パイロジェル™XTはガラス繊維製マットの内部にナノレベルの細孔を有するシリカ質エアロジェルを含有した製品です。その特徴の一つは、表1および図1に示すように、従来の保温材（けい酸カルシウム保温材、ロックウール保温材など）に比べ、およそ1/2～1/4と熱伝導率が低いことです。パイロジェル™XTの外観を写真1に示します。

低熱伝導率であるという特徴の他に、パイロ

表1 パイロジェルXTの基本特性表

製品名	パイロジェルXT
主用途	常温から高温までの保温
厚さ	5mm, 10mm
使用温度*1	-40℃～650℃
色調	ベージュ
密度*2	180kg/m <sup>3</sup>
熱伝導率*3	0℃：0.020W/mK
	300℃：0.035W/mK
	600℃：0.089W/mK
はっ水性*4	あり

\*1：パイロジェルXTは使用方法により、自己発熱する場合があります。施工対象の温度が400℃以上の場合は当社にご相談ください。

\*2：密度は代表値です。

\*3：ASTM C177に準拠して1.41N/cm<sup>2</sup>載荷状態での熱伝導率です。実際に保温厚さを決定する際は、10%の安全率を見込むことを推奨します。

\*4：230℃以上での使用時には、内面側（配管側）のはっ水剤が高温のため熱分解されますが、外面側は外気に接しており、高温にならないため、はっ水性は維持されます。なお、はっ水剤（シラン化合物）が熱分解される際に、多少の分解ガスが発生します。

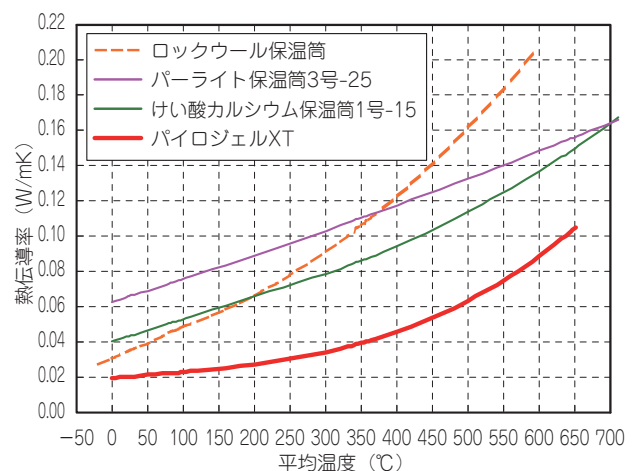


図1 パイロジェルXTと従来保温材の熱伝導率比較

\* e'-AIM®は、ニチアス(株)の登録商標です。

\* パイロジェルは、米国 aspen aerogels 社の商標です。

ジェル<sup>TM</sup>XTがもつ特徴は、「はっ水性」と「水蒸気透過性」です（写真2、写真3参照）。

この、「低熱伝導率」、「はっ水性」、「水蒸気透過性」をもつパイロジェル<sup>TM</sup>XTを既設保温材の上から巻きつけることで実現した工法がe'-AIM<sup>®</sup>工法です。



写真1 パイロジェルXTの外観



写真2 パイロジェルXTのはっ水性を示す例



写真3 パイロジェルXTの水蒸気透過性を示す例

### 3. e'-AIM<sup>®</sup>工法

#### 3.1 保温材の含水によるリスク

屋外配管へ施工されている保温材は、外装材の隙間や腐食箇所から雨水が浸入し、保温材が含水してしまう場合があります。保温材の含水は、次の二つの観点から非常に大きな影響があり、好ましいものではありません。

一つ目は、保温性能の大幅な低下です。けい酸カルシウムなどの保温材は、気体である空気を閉じ込めており、保温材の空隙率が90%を超えるような構造を保つことにより保温性能が確保されています。空気の熱伝導率に比べ、水の熱伝導率はおよそ20倍であるため、水分が保温材中に浸入し保持されている空気が水に置換されると、保温性能が大幅に低下します。一般的に熱伝導率が常温で0.065W/(m・K)を超えると保温材の機能を成さないといわれています。保温性能の大幅な低下は、保温された配管からのエネルギーロス（放散熱量）が（設計上の数値から）大幅に増加することを意味するため、省エネルギーの観点から対策が必要となります。

二つ目は、保温材下配管外面腐食（CUI：Corrosion Under Insulation）のリスクの増大です。保温材が含水し、配管表面が湿潤状態におかれることは、配管外面腐食の大きな要因です。日本国内の各種プラントは、高度成長期に建設されたものが多く、建設後数十年経過していることから、今後も配管外面腐食への対策が一層重要になると思われます。

これらの対策として有効であるのがe'-AIM<sup>®</sup>工法です。

#### 3.2 e'-AIM<sup>®</sup>工法の効果

通常、含水などにより劣化した保温材の補修は既設の外装材および保温材を撤去し、新しく保温材と外装材を施工しますが、撤去した外装材、保温材が産業廃棄物となります。また、蒸気などの高温流体配管では、作業の安全上の問題から、プラント稼動中には保温材撤去、再施工が出来ません。加えて、既設の外装材、保温材を全て新たに交換することになるため、相当のコストが必要となります。

これに対して、パイロジェル™XTによるe'-AIM®  
工法は、図2のように既設の外装材の上にパイロ  
ジェル™XTと新規外装材を追加施工し、含水し  
た保温材を乾燥・機能回復させる補修工法です。

従来の補修工法と比較して、既設保温材、外装  
材の撤去・処理費用が不要となり、補修費用を削  
減できるメリットもあります。

配管からの熱により、含水した既設保温材が加  
温されて発生する水蒸気は、パイロジェル™XT  
を透過し、新規外装材下部に設置された水抜き孔  
(※)を通じて外部へ排出されます。また、新た  
に雨水が新規外装材内部に浸入したとしても、パ  
イロジェル™XTのはっ水性により、パイロジェ  
ル™XTおよび既設保温材が含水することはなく、  
既設の保温材は乾燥状態が保たれます。

(※) 新規外装材1枚につき最低1ヶ所の間隔で、φ10~20mm程度の  
孔を設けます。

既設の保温材が乾燥状態となることにより、保  
温性能の回復(省エネルギー対策)、および、保  
温材下配管外面腐食(CUI)のリスクを低減する  
ことが可能となります。

弊社ではこの工法をe'-AIM®工法(Eco-Advanced  
Insulation Method)として2009年に商標登録を  
行い、2012年には特許(特許第4897858号『保温  
構造の補修方法及び保温構造』)を取得しています。

### 3.3 e'-AIM®工法による既設保温材乾燥確認実験

当社内で実施した、e'-AIM®工法の乾燥確認実  
験の結果を紹介します。

含水した保温材にパイロジェル™XTでe'-AIM®  
工法を行った際の含水率の推移を図3に示します。  
実験条件は次の通りです。

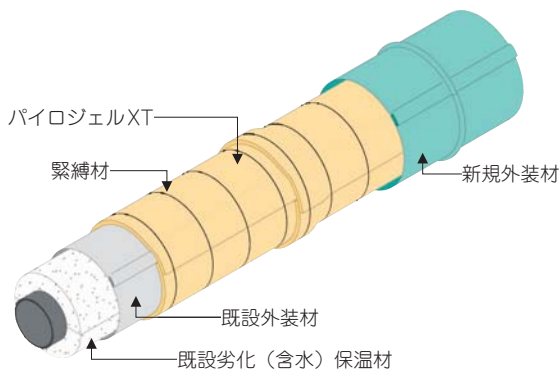


図2 e'-AIM工法施工概略図

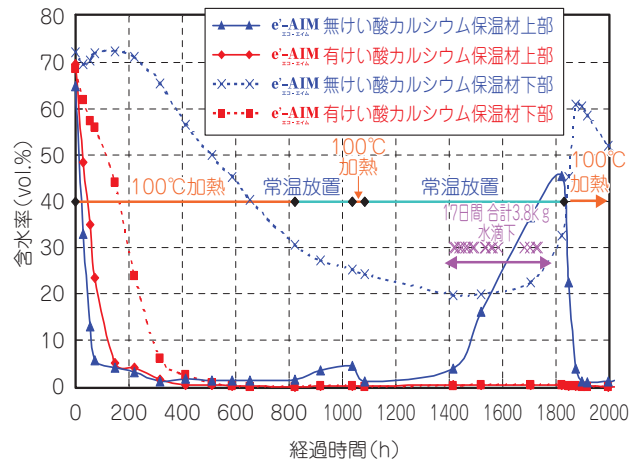


図3 e'-AIM工法によるけい酸カルシウム保温材の含水率推移

- ・保温材:けい酸カルシウム保温材1号(上下2つ割り形状)
- ・保温材厚さ:40mm
- ・保温材長さ:610mm
- ・保温材初期含水率:約70vol%
- ・配管サイズ:100A
- ・配管温度:100°C⇒常温⇒100°C(図3参照)
- ・含水率の測定:上下2つ割りの保温材サンプルの乾  
燥時体積重量変化を測定し、増減した水分量から下  
式のように体積含水率(vol.%)で算出した。  
体積含水率(vol.%)=[保温材サンプルに含まれている  
水分(cm³)/保温材サンプルの体積(cm³)]×100
- ・外気温度:20°C
- ・外部からの給水:実験開始後約1400時間~1800時間  
に約3.8kgを上部から滴下

図3に示すように、e'-AIM®工法を施していない  
けい酸カルシウム保温材は1000時間以上経過し  
ても下側は25(vol.%)程度までしか乾燥が進まず、  
更に上部から給水を行うと、はっ水性がないため  
再度含水率が急激に上昇します。

これに対してパイロジェル™XTを周囲に巻きつ  
けたe'-AIM®工法の試験体ではパイロジェル™XT  
の優れた保温性と水蒸気透過性により内部の含水  
したけい酸カルシウム保温材が上下共に400時間  
程度でほぼ完全に乾燥します。これは、保温性能  
の高いパイロジェル™XTを既設保温材の外側に  
施工したことにより、既設保温材表面の温度が上  
昇(図4参照。θ1→θ2)し、水分の乾燥を促進  
させた効果によるものです。



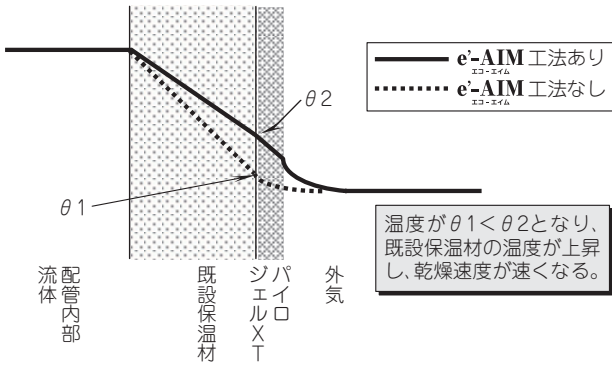


図4 e'-AIM工法実施時の温度勾配概念図

また、上部から水分を供給してもパイロジェル™XTのはっ水性によりけい酸カルシウム保温材の再含水を抑制している様子が分かります。これにより既設保温材の保温機能が回復し、再劣化を抑制することが可能となります。

#### 4. e'-AIM®工法施工事例の紹介

e'-AIM®工法の施工事例を紹介します。

##### ①化学工場蒸気配管への施工例

この工場では化学薬品や樹脂製品を製造する際の熱源として、重油焚きのボイラで蒸気を発生させて各製造ラインに供給しています。蒸気輸送配管途中の熱エネルギーロスがエネルギーコストを増大させるという問題がありました。

この蒸気輸送配管の内、700mの配管に対してパイロジェル™XT (10mm厚)を既設保温材 (けい酸カルシウム保温材) の上から1層巻きつけるe'-AIM®工法を実施し、エネルギーコストの削減を図りました。

- ・ 施工対象の配管径：80Aから125Aの各サイズ
- ・ 施工対象の配管長：約700m
- ・ 既設保温材の仕様：けい酸カルシウム保温材 厚さ50mm～75mm (配管径による)
- ・ e'-AIM®工法仕様：既設保温材の外側に、パイロジェル™XT (10mm厚さ) を施工後、新規外装材を施工。
- ・ 効果確認方法：施工前後の熱画像から表面温度、放散熱量の比較をおこなう。

施工箇所のうち一箇所を例として、施工前の外観を写真4に、施工後の外観を写真5に示します。また、施工中の様子を写真6に示します。

e'-AIM®工法を施工する前の配管の外観は既設の



写真4 e'-AIM工法施工前における蒸気配管の外観



写真5 e'-AIM工法施工後における蒸気配管の外観



写真6 e'-AIM工法施工状況

保温材を保護している外装板に錆が発生しており、この腐食部分から雨水などの水分が保温材の内部に浸透している可能性は十分に考えられました。

このような状態の配管に、e'-AIM®工法を施工しました。その結果、外径で20～30mm程度の寸法増加はありますが、外観の変化が無い状態で施工が完了しました(写真5)。また、この施工箇所における、e'-AIM®工法による表面温度と放散熱量の変化を表2に示します。

表2に示すように、保温性の優れたパイロジェル™XTを既設保温材の外周に施工するだけで表面温度を6℃以上、放散熱量を1/4以下に低減できました。

表2 e'-AIM<sup>®</sup>工法施工前後の保温特性変化

	施工前	施工後
表面温度 (°C)	40.5	34.1
放散熱量 (W/m)	269	64

配管径：125A

施工前：けい酸カルシウム保温材厚さ75mm（既設保温材）

施工後：既設保温材+パイロジェルXT厚さ10mm

施工前測定時周囲温度：27°C

施工後測定時周囲温度：30°C

施工前の試算では1kWh当たり5円（JIS参考値）の燃料費で年間約600万円の熱量コストを削減する効果が期待できました。実際には、年間約500万円～600万円の燃料費の削減とそれに応じたCO<sub>2</sub>排出量の削減が実現できました。

また、雨天時における内部流体の温度低下の抑制、トラップから蒸気のオーバーフローの減少、ボイラー出力が天候や気温に左右されずに平準化されたことなど、e'-AIM<sup>®</sup>工法施工の効果が現場でも実感できる事例が確認されました。

## ②地熱発電所蒸気配管への施工例

再生可能エネルギーの一つである地熱発電の主流は、井戸（生産井）から蒸気・熱水を取り出し、地上に設置された汽水分離プラントまで配管（二相流輸送管）にて移送後、蒸気のみを取り出し、タービンに送り、発電を行います。

汽水分離プラント、タービンは平坦部に設置する必要があることや、生産井の配置の関係上、山間部に立地された地熱発電所では、生産井から汽水分離プラントまで蒸気・熱水を移送する二相流輸送管の配管長が数kmとなる場合もあります。この二相流配管の保温性を高め、また、雨水による影響を少なくすることにより、発電効率の向上や、雨天時や冬季などに蒸気の圧力が低下することを防ぎ、発電効率の安定性を高めることに寄与できます。

地熱発電所への施工実績例としては、1000Aの配管：約100m、750Aの配管：約200mがあり、既設の外装板を撤去することなくその上からパイロジェル<sup>TM</sup>XTを1層巻きつけるe'-AIM<sup>®</sup>工法を行っています。施工時の写真を次の写真7、写真8に示します。



写真7 水平配管への施工（パイロジェルXTを施工中）



写真8 エルボ部への施工状況（外装板施工前）

## 5. おわりに

当社は、米国aspen aerogels社製パイロジェル<sup>TM</sup>XTの国内総代理店として、各産業分野への普及促進を図っています。

本製品は従来の保温材にない「低熱伝導率」、「はっ水性」、「蒸気透過性」といった特長を有しており、本稿で取り上げたe'-AIM<sup>®</sup>工法に適用することにより、効率的に既設保温設備の省エネルギー化に貢献できるとともに、保温材の含水状態を解消することにより、保温材下配管外面腐食（CUI）の対策としても有効です。

また、e'-AIM<sup>®</sup>工法のみならず、パイロジェル<sup>TM</sup>XTを使用した保温工事全般についても、普及を促進しています。

詳細については、工事業本部エアロジェル事業推進チーム（TEL：03-3433-7825）へ、エアロジェル保温材の製品販売については、工業製品事業本部省エネ製品技術開発部（TEL 03-3433-7237）までお問合せください。

## 参考文献

ニチアス技術時報 2010 No.1 P9-14