

共同溝暑熱環境最適化への取り組み

(1) 蒸気配管放熱量の改善

The activities for improvement of hot environment in undergrounding pipe-space(trench)
 (1)The decrease of the radiant heat from steam pipe

日本原子力研究開発機構	石山 道	Toru ISHIYAMA	Non-Member
日本原子力研究開発機構	川崎 一男	Ichio KAWASAKI	Member
日本原子力研究開発機構	松本 岳也	Takenari MATSUMOTO	Non-Member
日本原子力研究開発機構	寺田 秀行	Hideyuki TERADA	Non-Member
日本原子力研究開発機構	菊池 明夫	Akio KIKUCHI	Member
ニチアス (株)	溝口 剛	Tsuyoshi MIZOGUCHI	Non-Member
ニチアス (株)	池田 博之	Hiroyuki IKEDA	Non-Member

In the undergrounding pipe-space, there are many pipes for utility (electronic cable, water, gas, steam, etc.). These pipes are kept to safe by daily inspection. But hot environment of the pipe-space affects badly the device and a laborer's health.

The investigation of the heat distribution was carried on, therefore it was found that the radiant heat around the valve was very much. The method of thermal insulation was examined from the view point of the shape, cost, and effect. Then some of valves were covered with flexible thermal insulation, and the temperature of the area around the covered valves was decreased about 10°C.

Keywords: hot environment, thermal insulation, pipe-space(trench)

1. 諸言

核燃料サイクル工学研究所構内の共同溝には、所内各施設へ供給する電気、水(上水・工業用水)及び蒸気等、ユーティリティに係る配線及び配管等が設置されている。

共同溝内は、蒸気配管が設置されていることから配管等からの放熱により暑熱環境にある。調査の結果、小口径バルブ周辺の保温材の未設置部分及び蒸気配管保温材の表面からの放熱が多いため、高温環境となることが判明した。このため、小口径弁でも適用できるフレキシブルな保温材の採用と蒸気配管への保温材の追加施工をすることで、配管等からの放熱を低減させることができた。

本報告では、共同溝内の温度分布の調査、熱源の特定及び取り組んだ改善策について述べる。

2. 暑熱環境改善の必要性

対象とした共同溝は、総延長約 2.7km である。このうち蒸気配管は、同一箇所でも最大 3 系統敷設されており、蒸気配管の総延長は約 3.8km となる。共同溝及び蒸気配

管等の設置概要を図1に、共同溝の内観を図2に示す。

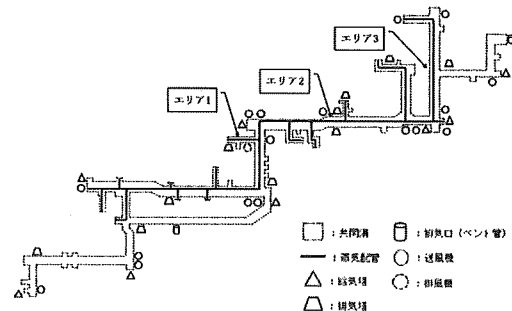


図1 共同溝及び蒸気配管等の設置概要

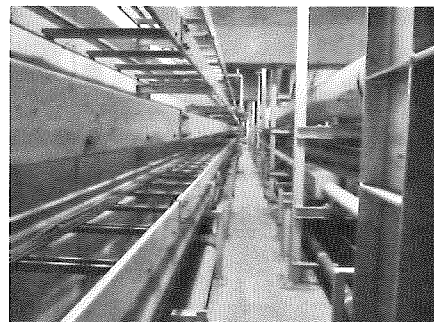


図2 共同溝の内観

蒸気配管及び配管上の弁は、内部の流体温度が約200℃と高温のため、配管及び大口径(200A以上)の弁には保温材(ロックウール(50mm)+鉄線+ポリエチレンフィルム+着色カラー鉄板)が施工されている。

しかしながら、保温材表面からの放散熱量が高く、また小口径(20A~50A)の弁は裸管状態となっていること、更には、送排風機的能力不足及び配置バランス等の問題により共同溝内の温度は高温状態となっている。特に著しい箇所は図1に示すエリア1、エリア2及びエリア3付近である。

この3箇所における平成20年度から平成22年度までの共同溝内等の温度を図3に示す(週1回測定)。

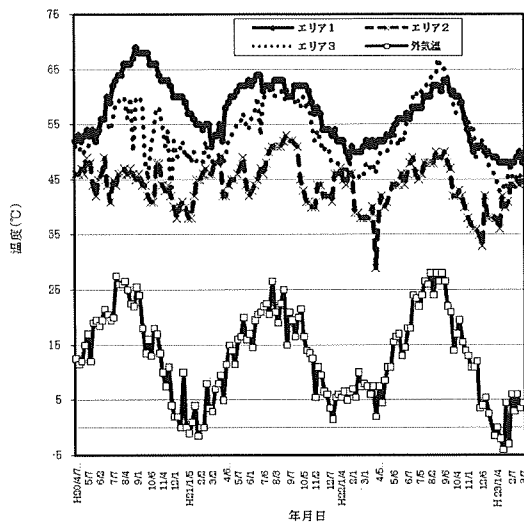


図3 共同溝内の温度変化

夏期時は各測定点とも温度が上昇し、特にエリア1においては最高69℃を記録している。また、冬期時においても40℃前後を記録しており、共同溝内は常に高温状態となっている。

次に、設置されている代表的な設備及び機器類の一般的な使用温度を表1に示す。

渦巻ポンプ及びリレーとも既に共同溝内の温度は使用温度を超過しており、タイマーについても使用温度上限に近い温度となっている。

表1 設備及機器類の使用温度

	使用温度(°C)
渦巻ポンプ	0~+40
リレー	-10~+55
タイマー	-55~+70

一方、共同溝内に敷設されているケーブルは、大別すると制御用のCVVケーブル(制御用ビニル絶縁ビニルシースケーブル)及び動力用のCVケーブル(架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル)となっている。

CVVケーブルは、新品ケーブルの加速劣化試験¹⁾によると、周囲環境温度が35℃の場合の寿命は約62年であるが、仮に50℃の場合の寿命は約15年、60℃の場合の寿命は約6年になると言われている。

CVケーブルは、架橋ポリエチレン、ビニル及びポリエチレン等の高分子材料から構成されるため、長い時間高温にさらされると、引張強さ及び伸びが低下し劣化する。このような劣化による高分子材料の寿命低下は、温度が10℃上昇すると、寿命が半分(10℃半減則)になると考えられている。

以上のことから、共同溝内が常に高温状態であることから次のような課題があった。

- (1) ケーブル及びポンプ等の設備の劣化
- (2) リレー・タイマー等の制御機器類の誤作動
- (3) 設備及び機器類の耐用年数の減少
- (4) 作業者に対する熱中症等発生のリスク

設備及び機器類の健全性を確保し、更には作業者の熱中症等の労働災害を防止するため、速やかに共同溝内の高温状態(暑熱環境)を改善する必要があった。

3. 共同溝内暑熱環境の調査

共同溝内の暑熱環境が著しいエリア1、エリア2及びエリア3のうちエリア1を対象に、温度上昇の原因を調査するため、温度測定(周囲温度、配管表面温度)及び蒸気配管からの放散熱量の算出(熱診断)を実施した。エリア1の調査範囲は約145mであり、このエリアの中には2本の蒸気配管(蒸気配管A・蒸気配管B)があり、それぞれ300A(ロックウール保温材50mm)となっている。

調査方法は、接触型表面温度計による周囲温度及び配管表面温度の測定、サーモグラフィによる熱画像解析によりJIS A 9501「保温保冷工事施工標準」に基づき放散熱量の算出を行った。概略調査点を図4に、調査結果を表2に示す。

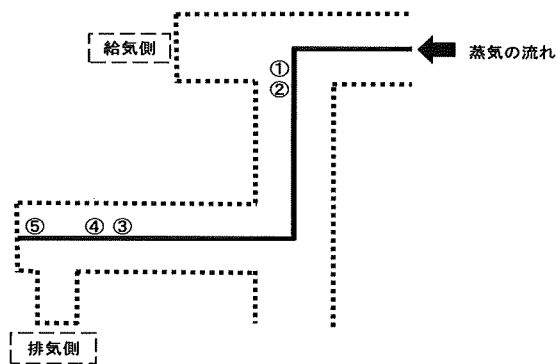


図4 調査点 (エリア1)

表2 調査結果 (エリア1)

測定点	測定値 (平成22年9月2日測定)		
	周囲温度 (°C)	表面温度 ave(°C)	放散熱量 (W/m)
①	39.0	52.9	173
②	39.0	50.1	134
③	62.0	73.2	159
④	62.0	71.9	138
⑤	62.0	75.6	196

調査の結果、共同溝内の周囲温度については給気側から排気側へ進むに連れて上昇し、最も高い③～⑤の地点では62℃になっており、給気側に比べ23℃の温度上昇が認められた。また、配管表面温度についても⑤の地点で最高75.6℃になっている。

これは共同溝の特徴(閉鎖的)・配管延長・放散熱量・換気量のバランスによって温度にばらつきはあるものの、蒸気配管からの放散熱量が、共同溝内の換気エアの流れで排気側へと運ばれていることが原因と推測した。また、蒸気配管上の小口径弁周辺のホットスポット(最高約187℃)及び配管のサポート全体の温度上昇を確認した。

4. 蒸気配管放散熱量の改善

3 項の調査結果からエリア 1 内の暑熱環境を改善するため、蒸気配管を小口径弁及び配管に分け、放散熱量の低減を図ることとした。

4.1 小口径弁の改善

4.1.1 改善概要

小口径弁には、玉型弁及び仕切弁があり、蒸気配管系統のドレン排出装置上に設置されている。エリア 1 内には、25 個(玉形弁 20 個、仕切弁 5 個)の弁が設置されており、これら全てが裸管状態となっている。このため、これら小口径弁全数の表面温度を低下させ放散熱量の低減を図ることとした。

低減に際しては、既存設備を大幅に変更することなく、小口径弁の保守の容易性及び費用対効果等の観点から、断熱材の選定条件として、耐熱性、防水性、断熱性、作業性及び経済性に着目し検討・調査した結果、市販品において条件に合致する着脱式断熱材を採用した。

断熱材は、外皮材がシリコンコーティングガラスクロス、内綿がガラスマット、内皮材がガラスクロスを使用しているため、防水性に優れており、最高使用温度は250℃である。また、形状は袋型となっており、着脱が自在であり、取付けも容易であるため作業性が良く、共同溝内の省スペースにも対応できる。着脱式断熱材の外観を図5に示す。

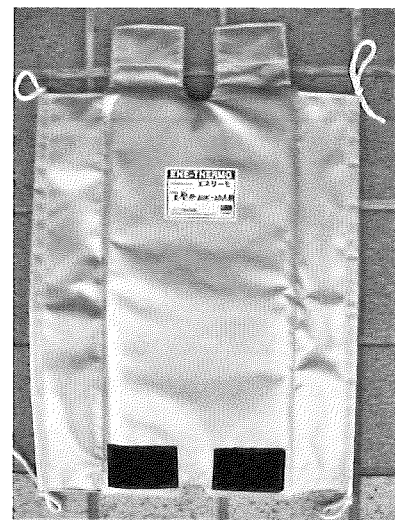


図5 着脱式断熱材の外観

4.1.2 着脱式断熱材の効果

エリア 1 内の 25 個(玉形弁 20 個、仕切弁 5 個)の弁に着脱式断熱材を取付け、サーモグラフィにより代表弁の表面温度を測定し、断熱材取付け前後の比較による差を低減効果とした。取付け前後の表面温度分布を図6に、放散熱量の結果を表3に示す。

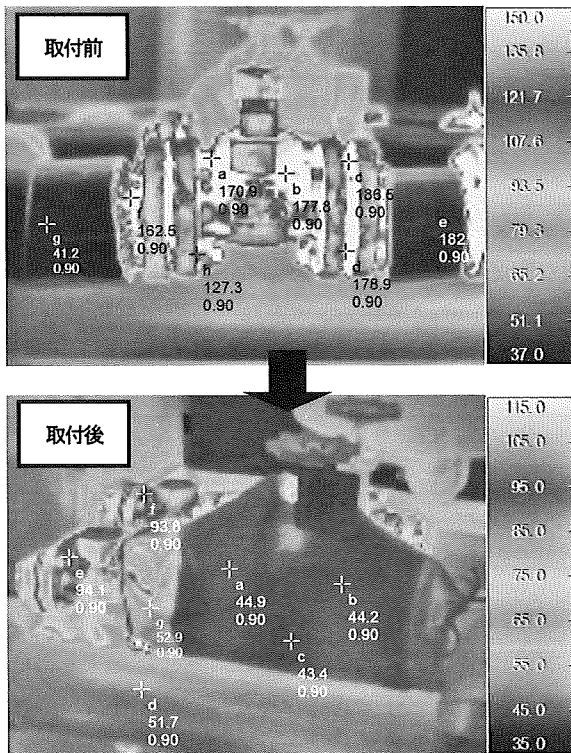


図6 取付前後の表面温度分布

表3 小口径弁における取付前後の放散熱量

種類	仕様	平均放散熱量(W/個)		低減放散熱量(W/個)	個数	低減放散熱量(kW)
		取付前	取付後			
玉形弁 仕切弁	20k-20A フランジ	134	13	121	20	2.4
		41	5	36	5	0.2

玉型弁の取付け前の平均放散熱量は 134W/個であったが、取付け後は 13W/個となり、121W/個の低減となった。また、仕切弁の取付け前の平均放散熱量は、41W/個であったが、取付け後は 5W/個となり、36W/個の低減となった。結果、エリア 1 内の 25 個(玉形弁 20 個、仕切弁 5 個)の弁の放散熱量は、計 2.6kW 低減した。

4.2 蒸気配管の改善

4.2.1 改善概要

蒸気配管には前述のとおり保温材が施工されているが、ティ部付近の保温材表面では最高約 103℃となっている。放散熱量は表面積に比例するため、300A 程度の大口徑の蒸気配管の場合は、放散熱量も必然と高くなる。このため、これら蒸気配管保温材の表面温度を低下させ放散熱量の低減を図ることとした。

低減に際しては、既存設備を大幅に変更することなく、作業工期の短縮、保温(断熱)性能の向上、共同溝内保守作

業スペースの確保及び費用対効果等の観点から検討・調査した結果、これらの条件に合致する製品及び工法が文献²⁾に掲載されており、超撥水・超低熱伝導率断熱材「Pyrogel XT」及び e'-AIM 工法(増し保温工法)を採用した。

200℃における熱伝導率は、従来の保温材(ロックウール)が約 0.0064W/mK であるのに対し、「Pyrogel XT」は約 0.0024 W/mK となり、1/3 程度の低い熱伝導率を持っている。従来の断熱材との熱伝導率の比較を図 7¹⁾に示す。

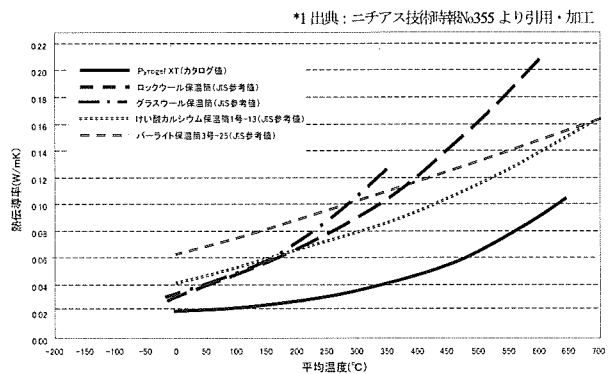


図7¹⁾ 従来の断熱材との熱伝導率比較

断熱材は、ガラス繊維よりなるフェルト状基材に、空気を閉じ込めたナノサイズ粒子シリカエアロジェルを含有させた高性能断熱材である。柔軟性及び高い撥水性が特徴の断熱材であり、既設外装板+Pyrogel XT+外装板の施工で保温効果が得られる。また e'-AIM 工法(増し保温工法)は、狭隘な箇所への適用、作業工期の短縮及び廃棄物低減の観点から有効な工法である。断熱材の外観を図 8 に、e'-AIM 工法を図 9²⁾に示す。

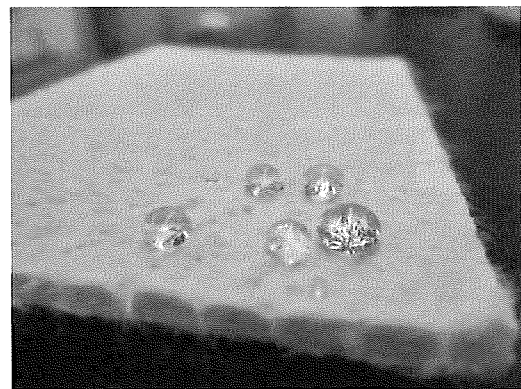


図8 断熱材(Pyrogel XT)の外観

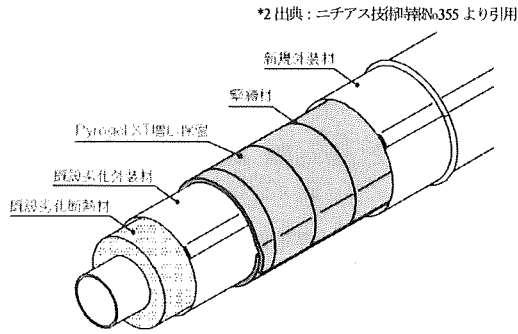


図9*2 e³-AIM 工法

4.2.2 断熱材「Pyrogel XT」の効果

放散熱量の低減及び施工の容易性等を事前に実施した試験にて確認できたため、本施工を実施した。施工範囲は、エリア1の蒸気配管A及びBライン(300A)各70mとした。施工仕様は、既設配管の外装材外側に、Pyrogel XT(10mm)を上巻きし、さらに新規外装材(カラー鉄板0.3t)を施工した。また、曲部及び弁関係の箇所については、外装材を取り外し、既設保温材の外側に Pyrogel XT(10mm)を上巻きし、SUS 鋼線にて緊縛、既設外装材を施工した。

効果の確認は、施工の前後でサーモグラフィによる表面温度測定及び放散熱量測定を行い比較し、その差を低減効果とした。施工前後の表面温度分布を図10に、施工結果を表4に示す。

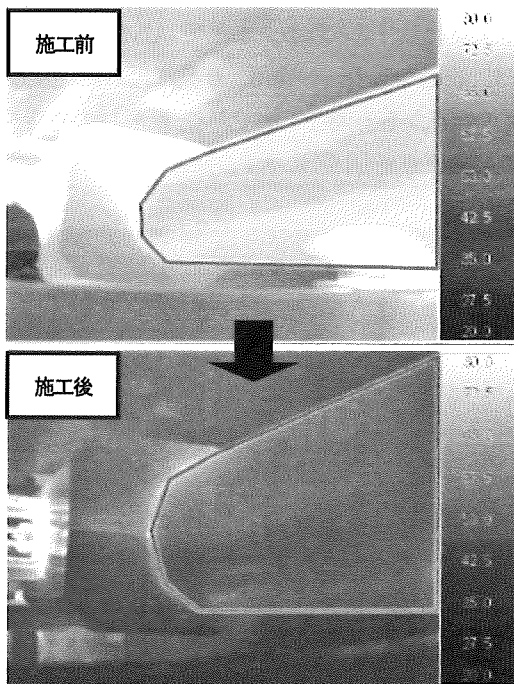


図10 施工前後の表面温度分布

表4 配管における施工前後の放散熱量

測定箇所	測定値(平成22年9月2日測定)				
	平均放散熱量 (環境換算値*) (W/m)	実測距離 (m)	放散熱量 (環境換算値*) (W)	周囲温度 (給気側) (°C)	周囲温度 (排気側) (°C)
Aライン	207	70	14,490	39.0	62.0
Bライン	175	70	12,250		
合計	382	140	26,740	-	-



測定箇所	測定値(平成23年3月10日測定)				
	平均放散熱量 (環境換算値*) (W/m)	実測距離 (m)	放散熱量 (環境換算値*) (W)	周囲温度 (給気側) (°C)	周囲温度 (排気側) (°C)
Aライン	120	70	8,400	22.1	42.0
Bライン	140	70	9,800		
合計	260	140	18,200	-	-

*3: 温度20.0°C及び風速0.0m/secによる換算値

蒸気配管の施工前の放散熱量は26,740Wであったが、施工後は18,200Wとなり、8,540Wの低減となった。なお、今回既設保温材に Pyrogel XT(10mm)を追加施工したことで、配管外径が若干大きくなったが、他配管及び機器類とのクリアランスは取れており、メンテナンス等の作業性に影響はないものと考えられる。

5. 放散熱量改善の効果

共同溝内の暑熱環境の改善対策として、小口径弁へは着脱式断熱材の取付け及び蒸気配管へは Pyrogel XT による追加保温施工を実施した。小口径弁はエリア1からエリア3内で計285個あり、そのうちエリア1の25個が対策済となった。この結果、小口径弁の表面温度は平均して約80°C低下し、年間放散熱量は約22,800kW低減した。これらから残り小口径弁260個の対策を実施することで、年間放散熱量が約435,000kW低減することが期待できる。小口径弁の改善に係る予想される低減放散熱量を表5に示す。

表5 小口径弁の改善に係る低減放散熱量

場所	種類	仕様	低減放散熱量 (kWh/個)	数量	低減放散熱量 (kW/年)
エリア1	玉形弁	20k-20A/フランジ	0.12	20	21,024
	仕切弁	20k-20A/フランジ	0.04	5	1,752
エリア2	玉形弁	20k-20A/フランジ	0.24	40	84,096
	仕切弁	20k-20A/フランジ	0.22	10	19,272
	玉形弁	10k-20A/フランジ	0.24	10	21,024
	仕切弁	10k-20A/フランジ	0.22	5	9,636
エリア3	玉形弁	20k-20A/フランジ	0.09	60	47,304
	仕切弁	20k-20A/フランジ	0.04	15	5,256
	玉形弁	20k-20A/フランジ	0.24	5	10,512
	仕切弁	20k-20A/フランジ	0.22	1	1,927
	玉形弁	20k-20A/フランジ	0.24	91	191,318
	仕切弁	20k-20A/フランジ	0.22	23	44,326

また、蒸気配管はエリア1(70m×2本)、エリア2(165m×3本)及びエリア3(433m×3本)内で計約2kmあり、そのうちエリア1の140mが対策済となった。この結果、配管表面温度は平均して約4.5℃低下し、年間放散熱量は約73,000kW低減した。これらから残りのエリア2及びエリア3の蒸気配管の対策を実施することで、年間放散熱量が約670,000kW低減することが期待できる。蒸気配管の改善に係る予想される低減放散熱量を図11に示す。

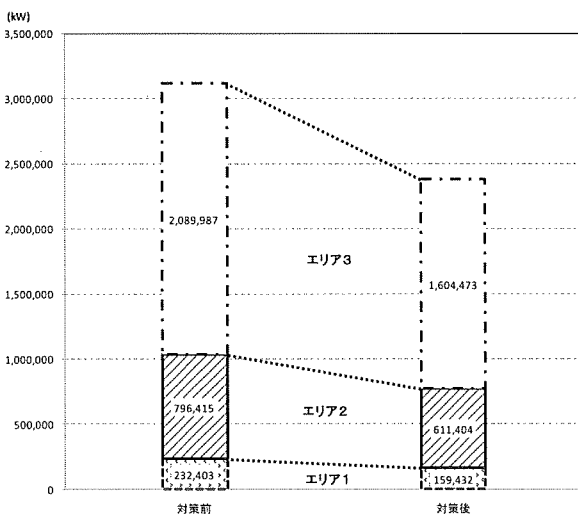


図11 蒸気配管の改善に係る低減放散熱量

以上、平成22年3月8日にエリア1内の蒸気配管放散熱量の改善が終了した。終了後から平成23年7月末まで共同溝内の温度を測定(週1回)した結果、外気温は過去2年より高いものの共同溝内の温度は平均約10℃低下した。

エリア1の温度変化を図12に示す。

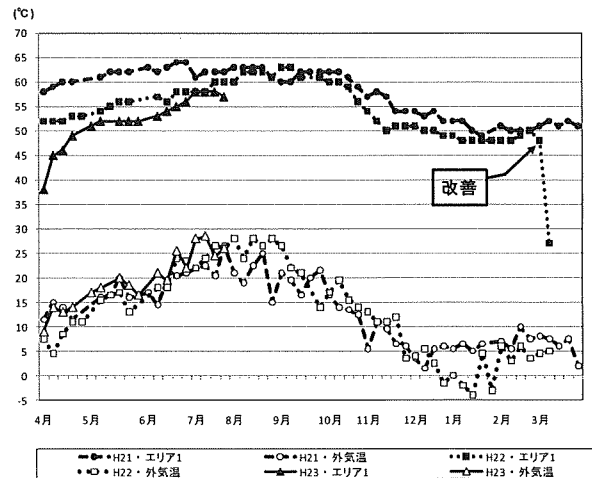


図12 共同溝(エリア1)の温度変化

6. 結言

共同溝は、所内各施設へユーティリティの安全・安定供給をするうえで、大変重要なものである。暑熱に伴う機器類の誤作動等により、万一ユーティリティが停止した場合、各施設の操業に多大な影響を与えることになる。

本改善により、機器類の誤作動防止、設備及び機器類寿命の延長化が図れることは、信頼性及び安全性が向上するばかりか、コスト削減にもつながる。また、放散熱量を低減することは、蒸気供給に係る伝送効率が向上し熱損失低減による省エネルギーの面も併せ持っている。更には、共同溝内で作業に従事する者の労働安全衛生面においても、快適な作業環境を作り出すことは大変重要なことである。

本改善策により一定の効果を得ることができたため、今後はエリアを拡大し、共同溝全体に渡って暑熱環境の改善を図る予定である。

参考文献

- [1] 喜多誠、“制御ケーブル寿命推定への加速劣化試験適用の評価”、北陸電力株式会社技術開発研究所研究開発年報、43号、2009、pp.80-81.
- [2] ニチアス技術時報、No.355、2010、pp.9-14.

(平成23年8月25日)