

■耐環境性能

光ファイバを敷設する凍土遮水壁周辺には海が近接しており、長期にわたって温度センサーとして運用するにあたっては、耐環境性について十分に配慮しておく必要がある。そこで、光ファイバの選定とその耐環境性能について以下に示す。

①光ファイバの選定

光ファイバケーブルは海洋観測分野等にて実績のある **OCC 社製 M-PAC ケーブル** を採用。

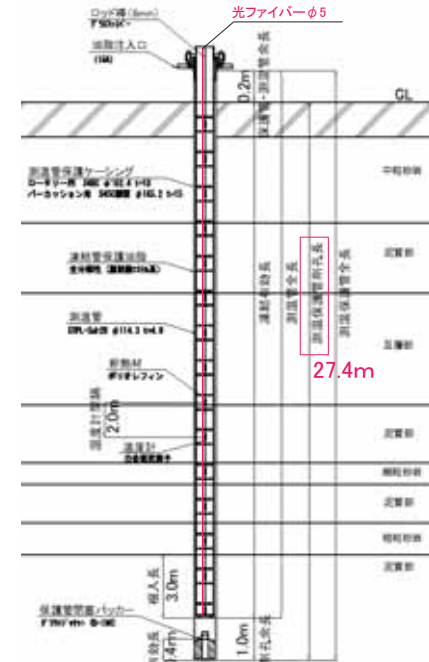
②耐環境性能

- ・ケーブルの最外側を金属のまま使用すると、他の金属に触れた場合に（水を介しても）、時間と共にイオン化し、腐食（電蝕）の恐れがある。従って、何らかの形で**外皮（シース）**を施すことで、この現象を回避する必要がある。耐環境性能は、このシースで決定されると言える。
- ・今回採用予定の M-PAC ケーブルは、**光ファイバがステンレス管内に挿入**されており、さらに**プラスチック樹脂製シース**で覆うことにより耐環境性（塩水）、耐絶縁性（電蝕等も含む）を高めた構造となっている。
- ・また、このステンレス管には**ジェリー**を封入することで、**ファイバーのずれを防ぐ工夫**が施されている。

光ファイバ敷設環境【測温管構造】

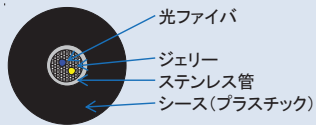
- 1.光ファイバは測温管の中に設置する。
- 2.測温管は保護ケーシング内に設置された鋼管を使用しており、中空構造でドライある。
- 3.測温管頭部はキャップをかぶせることで、雨水等が侵入しない構造である。

以上から、**比較的に外環境から保護された環境に光ファイバを敷設する計画**である。



FS①における測温管状況 (左:測温管頭部キャップ、右:測温管構造)

センサーケーブル諸元

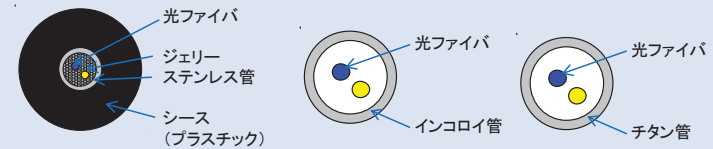


◆M-PAC ケーブルの特徴

- 1.柔軟性シースとステンレス管が密着することにより、柔軟性が向上し、ケーブルのハンドリング性が優れる。
 - 2.ステンレス管に充填されたジェリーによって、管内のファイバー余長が安定する。また、ファイバー余長を精度よくコントロールして、製造することが可能。
 - 3.側圧特性が優れており、内部の光ファイバを守る。
 - 4.本ケーブルは、ステンレス管に防食シースがあり、耐腐食性や耐異種金属接触腐食に優れている。
- ※本ケーブルのシース材料は、海洋観測分野での水中ケーブルに多くの実績がある。

項目	仕様	
使用温度	-40 ~ +60°C	
適用ファイバ	GI	
ファイバ心数(単心線)	2C	
標準外径	4mm	
概算重量	20kg/km(空中)	
	3kg/km(真水中)	
許容張力	150N	
許容曲げ半径	固定時	50mm
	延線時	80mm

各ケーブルの構造図



	OCC製品	インコロイ管	チタン管
耐腐食性	◎	○	△
耐異種金属接触腐食	◎	×※1	×※1
ハンドリング性	◎	△	△
コスト	小	大	中

※1 接触する相手側金属がFeの場合、Fe側材料がアノードとなってイオン化し、腐食が進み、インコロイ、チタン側はカソードとなって腐食が抑制されます。

■放射線被ばく環境下における光ファイバの耐放射線性能評価

ガンマ線照射装置を用いて、光ファイバの耐放射線性能試験を行った。以下に試験概要を示す。

①使用設備：

セシウム 137 線源を使用した自己遮蔽型ガンマ線照射装置
(東京都立産業技術研究センター保有設備)

装置自体が遮蔽体で、内部にある照射室に試料を入れて照射する形式。セシウム 137 のガンマ線の半減期は 30.1 年、エネルギーは 662keV で長期間安定した照射が可能。また、ガンマ線は上部の線源格納容器から下の円筒型照射室に向けて照射され、回転照射を行うことで均一な照射が可能。

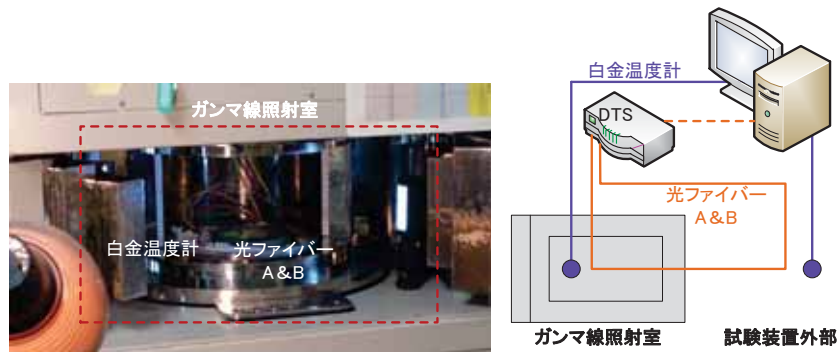
*) 東京都立産業技術研究センターHP より引用



ガンマ線照射装置

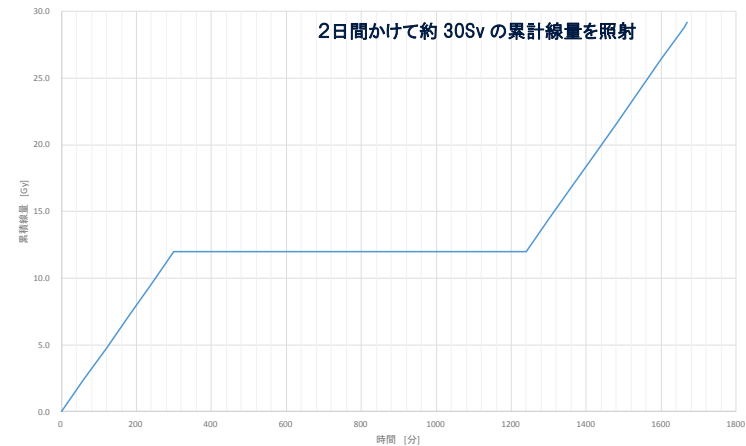
②試験方法：

- ・ 光ファイバ 2 種類 (A : 従来タイプ, B : 耐放射線タイプ) と白金温度計を照射室内に一緒に入れる。
- ・ ガンマ線照射とともに温度が上昇するので、その温度変化について、室内外で同時に計測する。
- ・ 白金温度計の計測値に対する光ファイバ 2 種類の温度測定差について評価する。

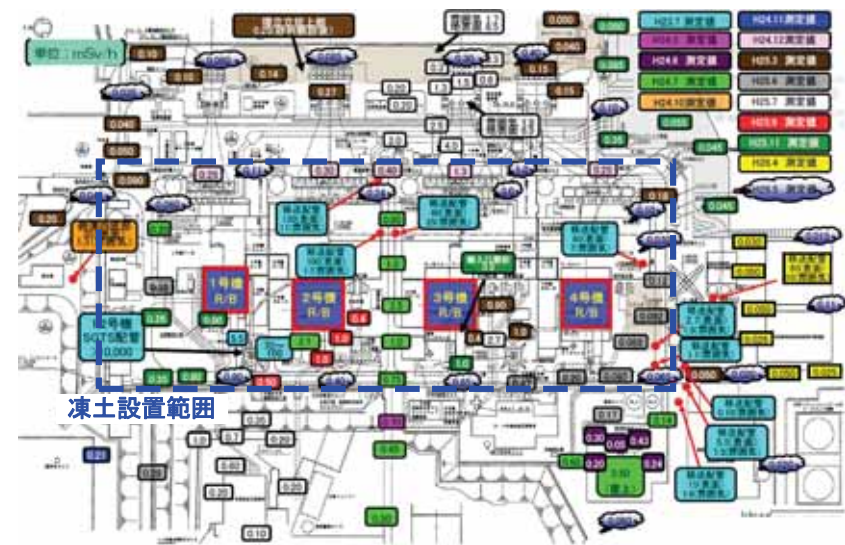


③試験条件

- ・ ガンマ線照射量： 2.4Gy/h で、累積線量 30Gy (グレイ) を照射 ⇒ 30Sv (シーベルト) に相当
- ・ 光ファイバ敷設箇所を仮に 0.5mSv/h (比較的高め部位) と想定
30*1000/0.5=60,000 時間 → 2,500 日 (約 7 年) 間、上記被ばく環境下に敷設した場合と同等



ガンマ線照射データ



建屋周辺サーベイマップ(2014/5/14) * 東京電力 HP より引用

④試験結果

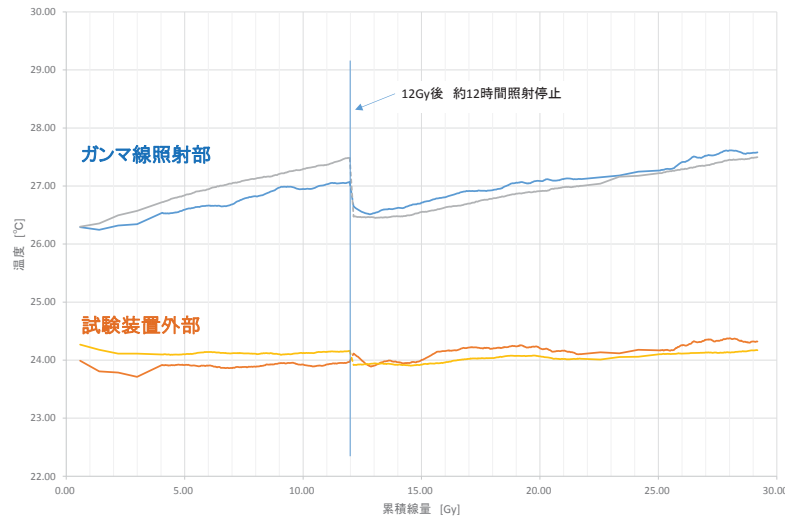
光ファイバ2種類（A：従来タイプ、B：耐放射線タイプ）について、ガンマ線照射に伴う白金温度計との計測差異について上段グラフに示す。また、光ファイバの温度計測における分解能の変化について下段に示す。

その結果、B：耐放射線タイプの方がA：従来タイプと比べて、

- ・白金温度計との計測差異が小さいこと
- ・温度分解能に変化が見られないこと

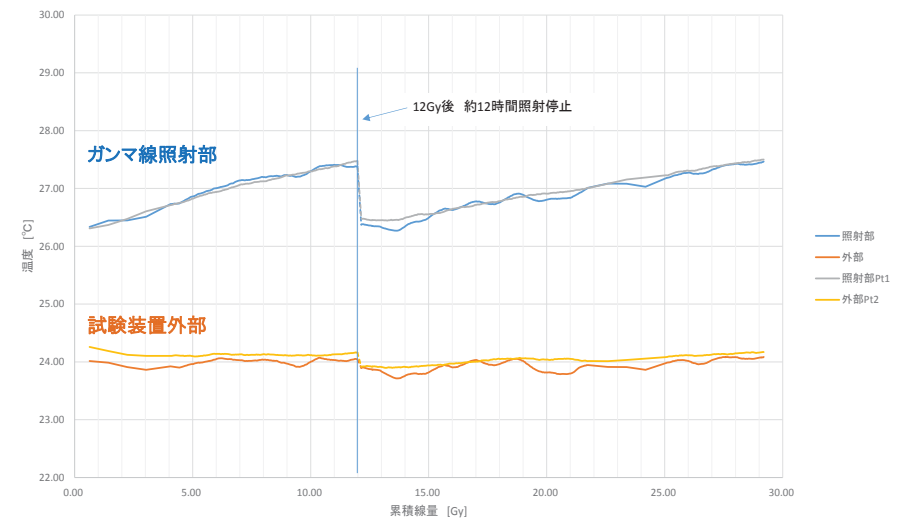
を確認することができた。つまり、約 30Sv のガンマ線を照射しても耐放タイプの光ファイバは白金温度計と遜色なく、温度計測を継続できることを確認した。

【A：従来タイプ】

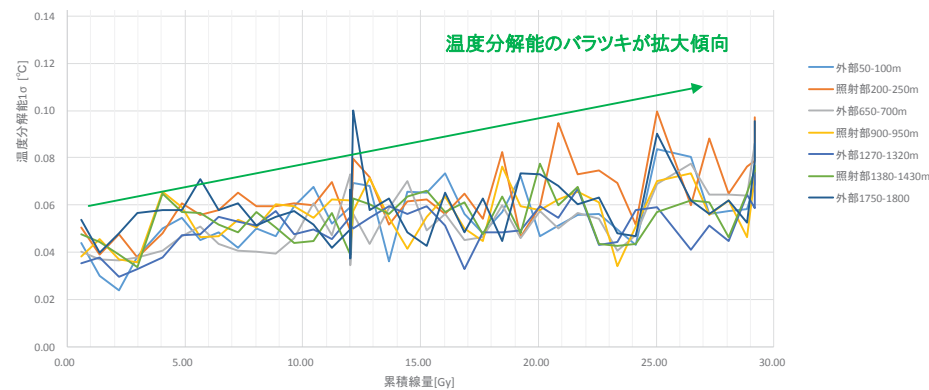


光ファイバ A～白金温度計 測定温度比較

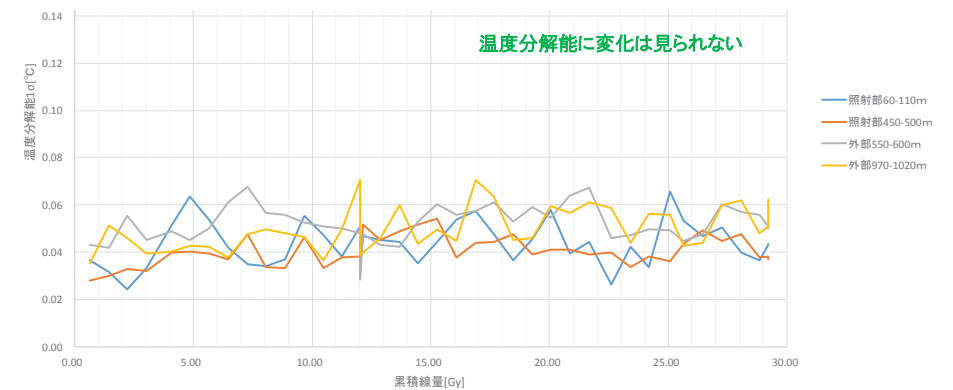
【B：耐放射線タイプ】



光ファイバ B～白金温度計 測定温度比較



光ファイバ A 温度分解能比較



光ファイバ B 温度分解能比較

■測定精度（信頼性確保）

従来型の白金温度計に対し、光ファイバによる温度測定の信頼性を確保するにあたって、以下の検討を行った。

(1) 測定方式

今回の測定では2CHを使用してループを構成するループ測定方式を採用する。これにより、ループ測定方式はシングルエンド測定方式（1CH 使用）より測温精度が高くなる。また、万一光ファイバが断線した場合でも、自動的に両端からのシングルエンド方式で測定を継続実行出来るため、システムの冗長化にも寄与する。

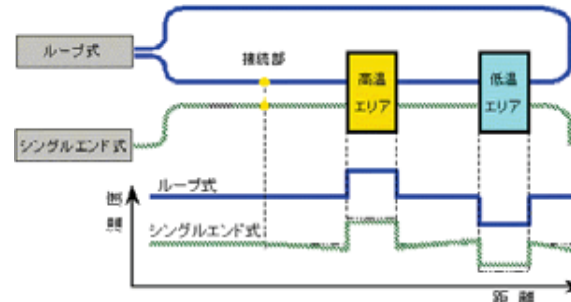
(2) 測定時間

白金温度計と比べて、光ファイバは測定値のバラツキを有する。これを圧縮する方法としては測定時間を長くするのが有効であるが、必要とする計測頻度と精度のバランスから測定時間を10分とすることにした。測定時間の長短でバラツキが変化する様子を図示した一例を右に示す。

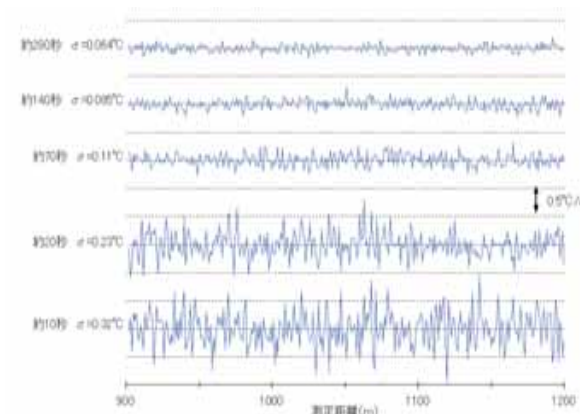
次に、FS①実証試験において、凍結開始前の温度計測で測定時間10分での白金温度計に対する光ファイバの測定値のバラツキ具合について検証した。その結果、ほぼ一定な白金温度計に対し、光ファイバは±0.15℃程度のバラツキが認められた。

そこで、白金温度計と光ファイバの測定誤差について、全同時計測時点における全ての深度で精査し、ヒストグラム化した。その結果、-0.2度をピークとする正規分布が得られた。温度変化の過程においても、温度一定状況下と変わらないバラツキを有していることがわかった。

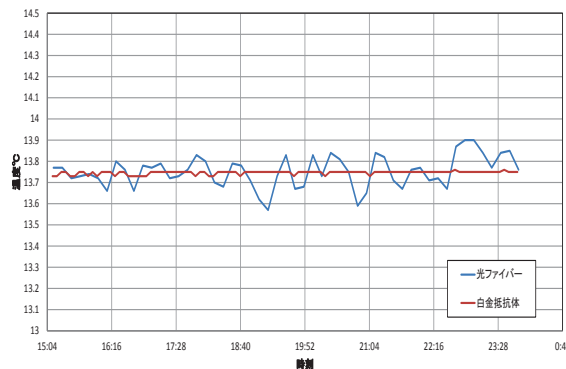
以上を踏まえ、凍土壁の運用管理上、測温精度を±0.5℃としており、十分に小さい値であることから、測定時間10分が計測頻度と精度で良いバランスが得られることを確認した。



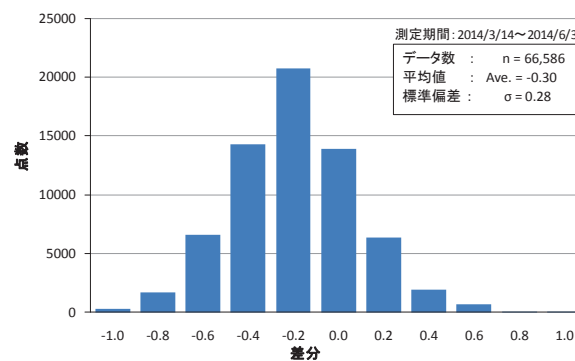
ループ方式による精度向上と冗長化



測定時間～測定値の相関例



凍結開始前測定温度比較 (2014/3/13)

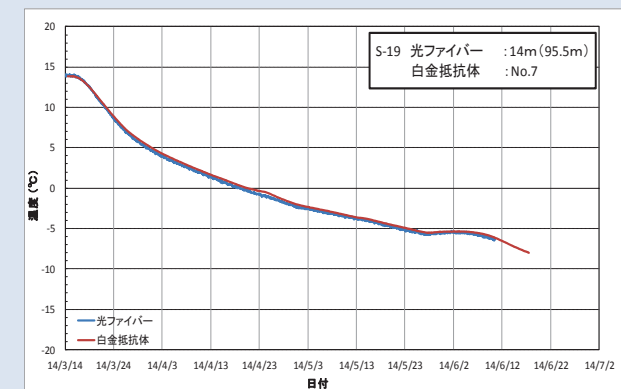
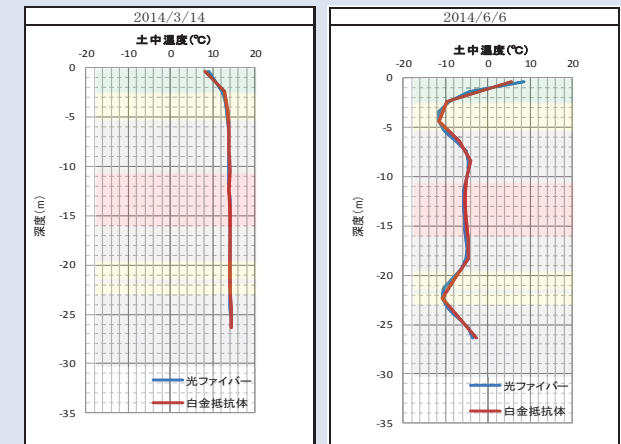


白金温度計～光ファイバ測定誤差 ヒストグラム

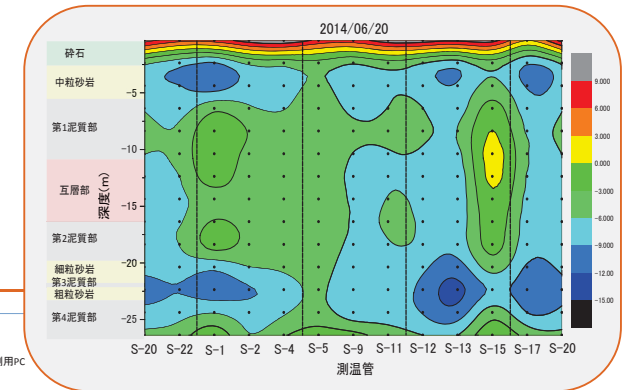
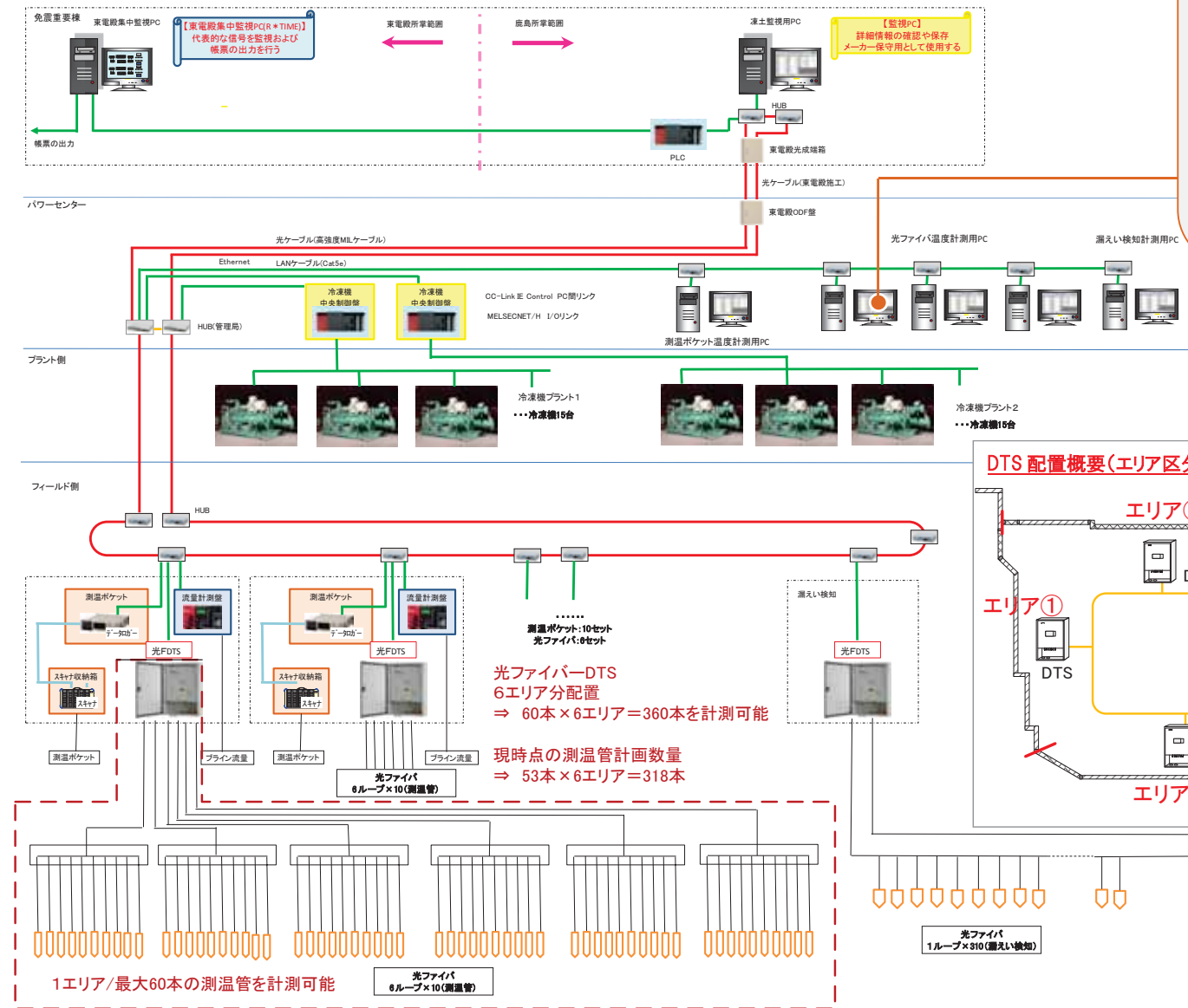
	ループ方式	シングルエンド方式
温度分解能	全長で±0.5℃以内 (4km測定時)	遠方点ほど性能が低下
温度精度	光ファイバ全長で温度精度を確保	遠方点・特異点の温度を測測して補正
光ファイバ断線	内部処理で変動の影響を除去	減衰率変動により温度指示に影響
断線対応	シングルエンド方式で自動継続	断線点以遠測定不能

☆FS①測温管 S-19における温度データ比較(光ファイバ vs 白金温度計)

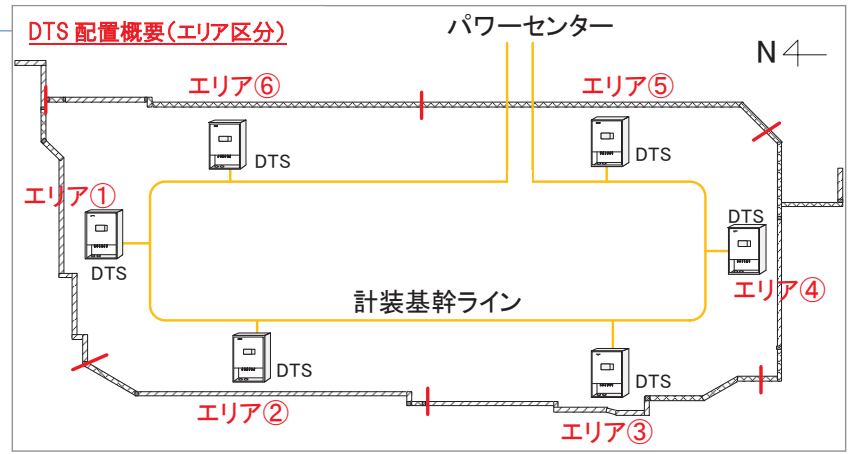
⇒ 凍土壁の温度管理上は、白金温度計と光ファイバが十分に合致した計測値を示している。



■計装システム全体計画図（凍土壁関係）

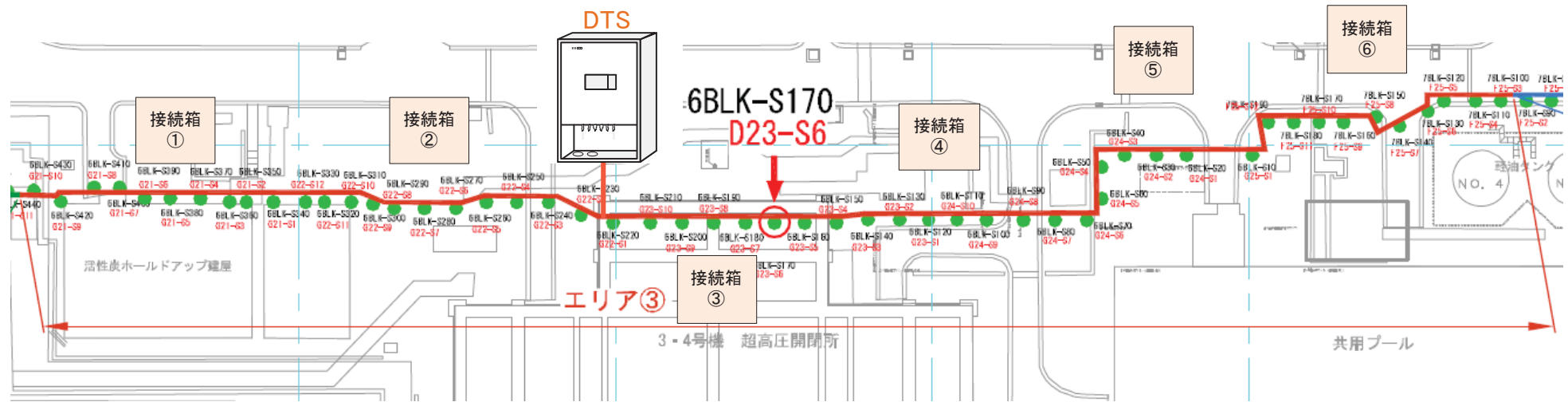


温度監視モニター 画面イメージ

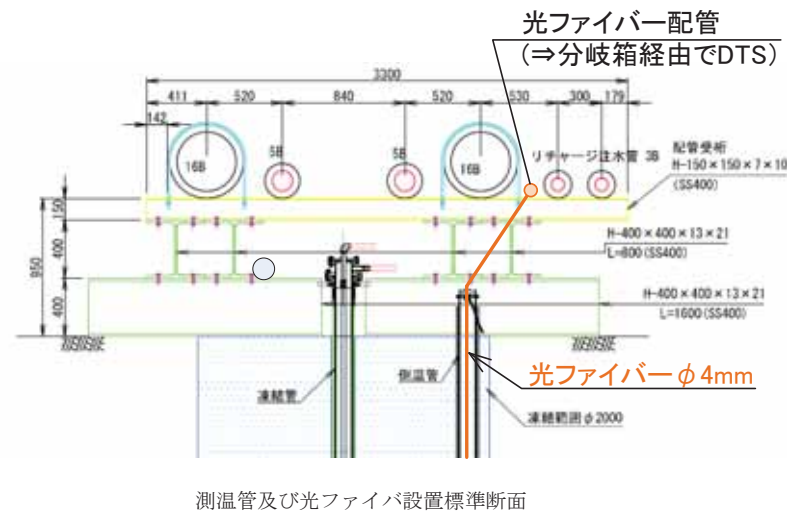


- ・測温管 318本
- ・光ファイバ計測エリア区分：計6エリア
- ⇒ 1エリアあたり測温管 53本

■光ファイバ敷設計画図



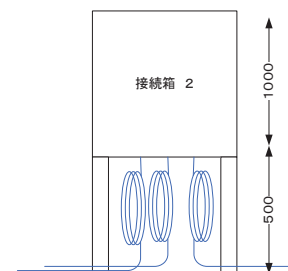
エリア③配置イメージ



測温管及び光ファイバ設置標準断面



光ファイバ構造断面



接続箱イメージ



DTS 設置イメージ

*) 詳細設計中につき、現計画案となります。