

## レーザ走査による貯炭レベル測定装置の開発

(株)四国総合研究所 エネルギー技術部 高橋 克征  
(株)四国総合研究所 エネルギー技術部 宮崎 習  
四国電力(株) 火力本部 田村 英樹  
四国電力(株) 火力本部 片上 正司  
四国電力(株) 火力本部 (現: 四電ビジネス(株)) 今川 重喜

キーワード: 石炭体積測定  
レーザ計測  
発熱監視  
防爆措置  
粉じん汚損防止

Key Words: Coal volume measurement  
Laser measurement  
Heat monitoring  
Explosion proof measure  
Anti-dust control

### Development of measuring equipment for coal volume using laser scanning

Shikoku Research Institute, Inc., Energy Engineering Department  
Yoshiyuki Takahashi, Manabu Miyazaki  
Shikoku Electric Power Co., Inc. Thermal Power Division  
Hideki Tamura, Shoji Katagami, Shigeki Imagawa

### Abstract

In general, a huge volume of coal in a silo is measured by several microwave level meters and managed at a coal-fired power plant. However, since the shape of coal in a silo is complicated, a highly accurate measuring equipment is required. Therefore, we developed an equipment to measure coal volume in a silo using laser scanning. The equipment automatically starts measurement at a set time every night, and can visualize the three-dimensional shape of coal in the silo.

## 1. はじめに

従来から石炭火力発電所では、超音波式レベル計(常設装置)とメジャー測定(手作業)による9個所の平均高さから、サイロ内石炭の体積量を計算して管理している。

しかし、サイロ上部から投入された石炭は、4つの下部ホッパから払い出されて複雑な貯炭形状へ変化するため、測定精度や再現性が十分ではない。このため、貯炭体積量を高精度に測定でき、サイロ内貯炭形状を可視化できる装置へのニーズが非常に高い。

そこで、最新のレーザ距離センサを活用した高精度なレベル測定が可能な装置を開発し、本運用されることとなったので、特徴と運用状況を報告する。

## 2. 本装置の仕様

開発した貯炭レベル測定装置は、石炭表面をレーザ走査し、その貯炭形状から体積量を算出する装置である。

本装置は、レーザを高精度に走査するメカユニット、制御・体積計算する制御ユニット、遠隔監視するPCから構成されている。構成図と装置外観を図1、図2に、主な仕様を表1に示す。

装置外観は、点検などで装置をサイロ内から吊り上げた状態であり、通常運用では、風雨対策用カバーを設置している。

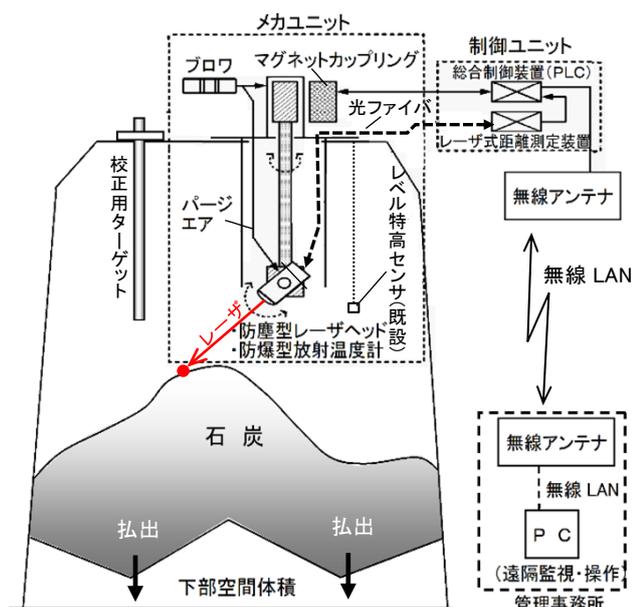


図1 構成図



図2 装置外観(装置上架時)

表1 装置の主な仕様

項目	備考
設置場所	サイロ上部(屋外)
目標精度	全貯炭体積量±0.5%以下
測定原理	レーザ(クラス1)
防爆対策	光ファイバ分離式レーザヘッド、マグネットカップリング
防塵対策	エアパージ(4年以上汚損なし)
耐候性	PLCが制御・計算
監視方法	PCから遠隔監視・操作
石炭温度	防爆型放射温度計
停電対策	UPS、停電時原点自動帰還
ノイズ対策	ノイズカットトランス
校正方法	校正用ターゲット
保守周期	1年

### 3. 距離センサの選定

#### 3.1 距離センサの比較

一般的な距離センサである、超音波、マイクロ波、レーザを比較した(表 2)。いずれの距離精度も同等であり、測定対象が平坦であれば差異はないが、複雑な形状測定にはビーム広がりを考慮する必要がある。日々の運用では、サイロ上部点検口から約 15mの高さまで貯炭されることが多い。この距離でのビーム広がり、超音波ではφ1,575mmであり、石炭の安息角を40°とすると高さ方向に最大1,322mmの誤差が予測される(図 3)。

本装置の目標精度は、石炭を搬送するコンベアスケールと同等の±0.5%である。全貯炭体積量の±0.5%は、石炭高さ±100mmに相当することから、超音波やマイクロ波でこの精度を満たすことは困難である。特に壁付近では壁の影響が大きく、貯炭体積量を多く算出する。

このため、石炭表面にレーザを走査させる測定方法が最も適していると判断した。

表 2 距離センサの比較

	超音波※1	マイクロ波※1	レーザ
測定距離	~70m	~70m	~200m 低反射率対象
距離精度	±28mm	±15mm	±25mm
ビーム径※2 (15m先)	φ1,575mm	φ920mm	φ30mm
積付角誤差 (tan 40°)	1,322mm	772mm	25mm
体積精度※3	△	△	○

※1 発電所で使用実績のあるセンサ

※2 ビーム径が小さい程、複雑形状には高精度測定

※3 ビーム走査による貯炭形状から算出した場合

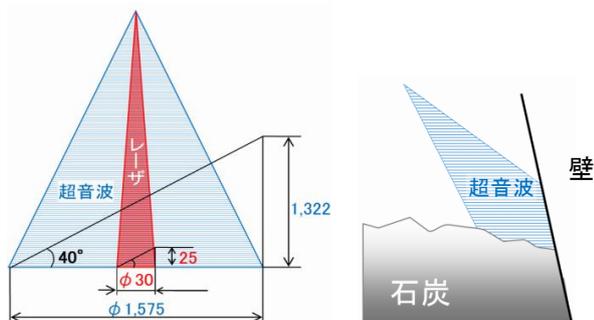


図 3 ビーム径の広がり測定精度

#### 3.2 距離センサの選定

石炭から反射されるレーザ光は極僅かであるため、斜め入射の測定には高感度なセンサが必要となる。様々なレーザ距離センサの中で、航空機から地上形状を測定できる高感度レーザ距離センサのみが測定可能であった。そして、レーザ発信器とレーザヘッドが光ファイバで分離された製品(RIEGL社:LD90-3200HiP-GF)は、レーザヘッドのみをサイロ内へ設置でき、サイロ内に電子機器を配置しないため、防爆性に配慮できる(図 4)。また、粉塵雰囲気でも測定できるセンサであり、本装置に適している(図 5)。

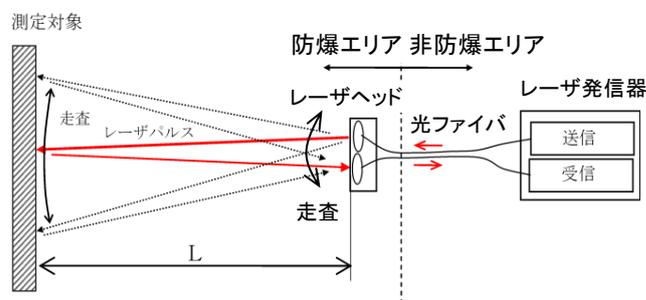


図 4 測定原理

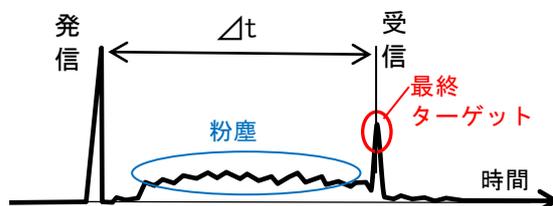


図 5 粉塵雰囲気測定イメージ

### 4. 本装置の特徴

本装置は、高精度に走査するハードウェア、これを制御し体積計算する PLC、立体表示やデータ管理する PC から構成されている。

#### 4.1 ハードウェア

##### (1) 高精度走査機能

高精度にレーザ走査を制御するため、超低バックラッシュ高減速ギア(800:1)を用いて、バックラッシュによる誤差を最小限にした。高減速ギアのため、走査速度が遅くなり測定時間が長くなるが、後述の測定点の最適化などで対処している。

また、マグネットカップリングを用いた構造により、モータを完全にサイロ外に配置するととも

に、機械的な貫通部をなくして、防爆性に配慮している（図6）。

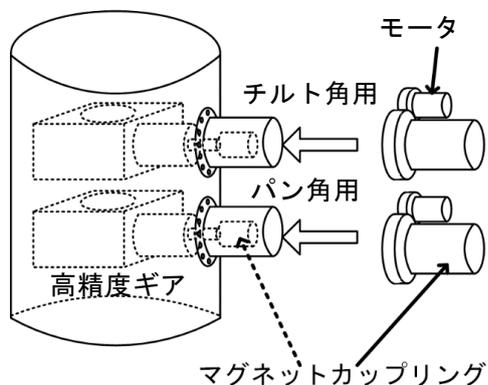


図6 駆動方法

## (2) エアパーズ機能

サイロ内は高湿度で、石炭受入中は多くの粉塵が浮遊するため、レーザヘッドの汚損防止としてエアパーズ機能を備えている。エアカーテン方式やスパイラル方式などでは1か月も経たずに汚損されたが、筒内加圧式エアパーズは防塵効果が高く、4年以上汚損されていない（図7、8）。

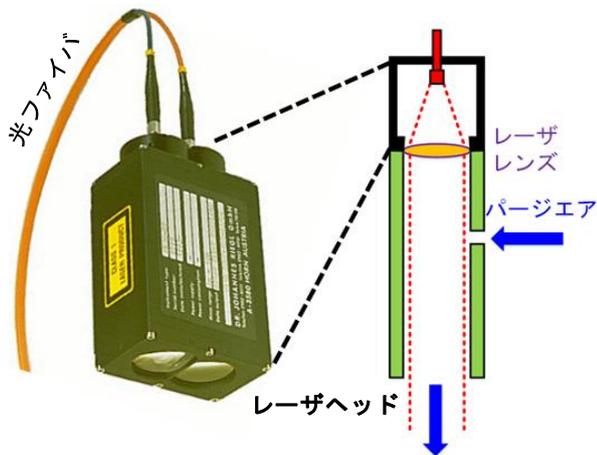


図7 筒内加圧式エアパーズ



図8 エアパーズの効果(4年後)

## 4.2 PLC制御(PLCソフト)

サイロ上部は夏期には45°Cを超えるため、工業的に信頼性の高いPLC(シーケンサ)により機器制御と体積計算を行っている。PLCソフトは以下の機能を有する。

### (1) 自動体積量測定機能

本装置は、設定時間に自動で測定を開始し、測定座標データから貯炭体積量を算出する。

測定点は走査角(パン、チルト)と測定距離から、座標を求める(図9)。石炭と壁が接する箇所(壁座標)は装置直下からの距離が小さく変化する前後の直線の交点としている(図10)。

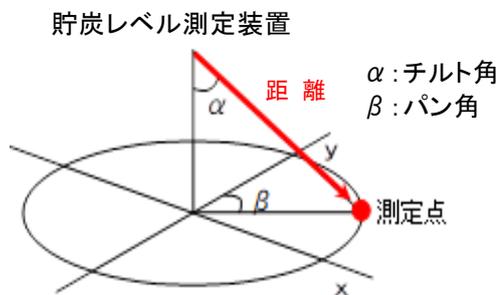


図9 測定座標の算出方法

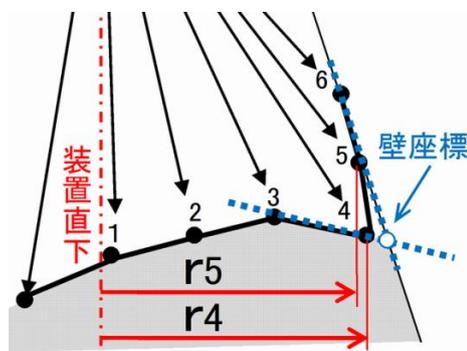
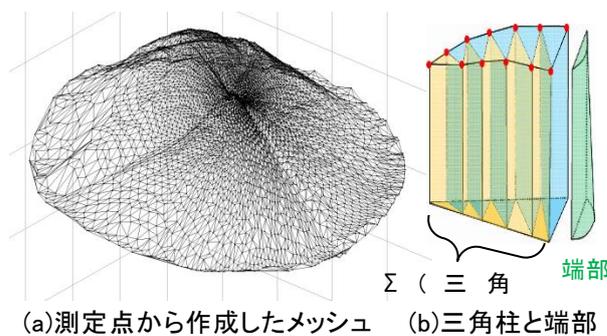


図10 壁座標の算出方法



(a)測定点から作成したメッシュ (b)三角柱と端部

図11 体積量の算出イメージ

3つの測定点からなる三角柱を積分し、下部空間体積量を除くことで貯炭体積量を算出する。サイロは高くなるにつれて内径が小さくなるため、壁高さに応じた端部体積量も加算する(図11)。

また、石炭のないサイロを測定し、正確な下部空間体積量を貯炭体積量へ反映している(図12)。

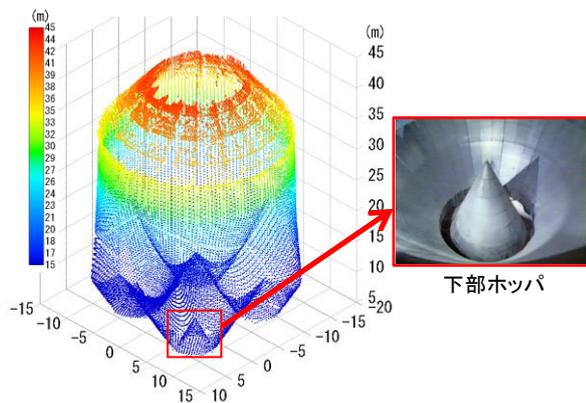


図12 サイロ内部形状(下部空間体積量測定)

## (2) 最適測定点の自動選択機能

測定点は、パン角とチルト角のパターン(測定マップ)を元にレーザ走査し、決定される。高減速ギアにより測定に長時間を要するため、測定精度を維持したままで測定点数を削減するなどして、測定点の最適化を行っている。

装置直下から壁に近づくにつれてチルト角の刻みを細かくすることで、測定点の間隔に粗密ができないよう配慮した。また、装置はサイロの中心から偏った個所に設置されており、パン角毎に有効なチルト角の範囲が異なるため、全パン角に対するチルト角を固定すると不要な壁データが多くなる(図13)。そこで、パン角毎にチルト角範囲を調整して、体積量算出に不要な壁データを削減した。

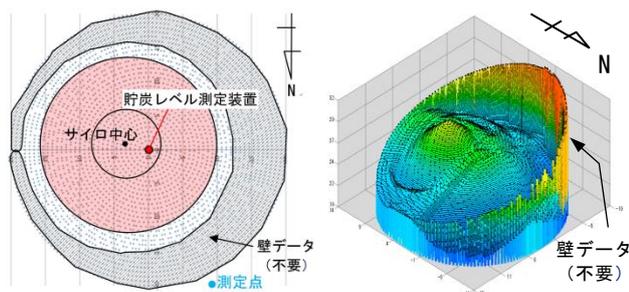


図13 チルト角の刻みを最適化した測定

貯炭体積量が少ないときは石炭表面までの距離が遠くなり、同じチルト角刻みで走査すると測定点の間隔が粗くなる(有効データ数が少なくなる)。そのため、測定開始前に装置直下の距離を測定し、高さに応じた最適な測定マップを自動選択している。

これらの最適化により、当初13時間(約6,000点)要していた測定を約1.5時間(約1,000点)に短縮した。

## (3) サイロ内環境の自動判定機能

本装置は、多少の水蒸気(または粉塵)中でも測定可能であるが、水蒸気過多になると石炭の反射レーザを受信できず測定できなくなる(図14)。

この状況では原理的に貯炭体積量測定が困難であるため、斜め遠方の壁(仮ターゲット)を測定し、その距離からサイロ内環境の良否を自動判定して測定を開始する。

石炭受入中は、サイロ内が粉塵で充満しないように既設集塵機を稼働させている。水蒸気過多時にこの集塵機を稼働させると、90分程度で測定可能な環境に改善されるため、サイロ内環境が悪い時は集塵機を稼働させることを検討している。

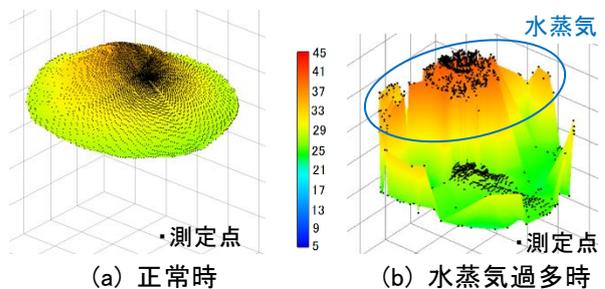


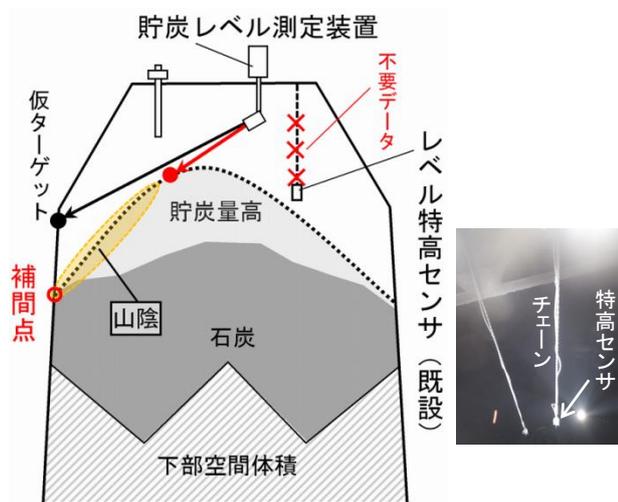
図14 水蒸気過多の影響

## (4) データの自動処理機能

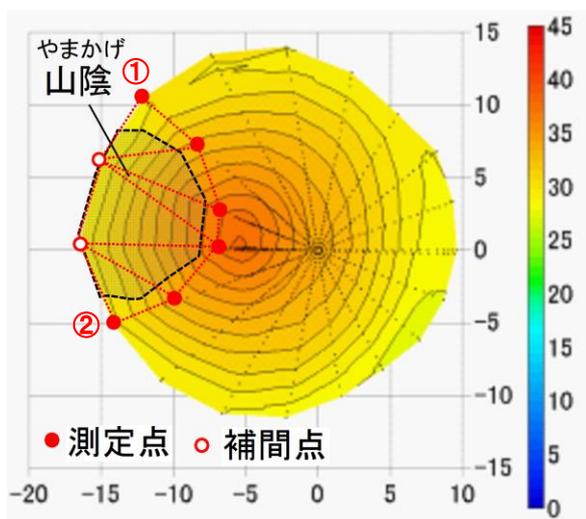
測定されたデータには体積量算出に必要なないデータが含まれており、これを自動処理している。不要データには、貯炭体積量が規定量以上にならないように監視するレベル特高センサのチェーンや、サイロ壁、水蒸気などがあり、周辺データに比べて著しく異なるものを自動で排除している(図15)。

また、貯炭体積量が多くなるとレーザの死角(石炭山陰)が発生して、データが欠損することがある。山陰が発生するのは、石炭を多く受け入

れた直後であるため、欠損箇所を直線（安息角）とみなしている。石炭性状により安息角のばらつきが考えられるため、欠損データ前後の壁測定点から案分して、山陰部の壁データを補間している。



(a) 不要データ等の発生箇所



(b) 欠損壁データの補間

壁測定点①②を案分し、山陰部の壁データを補間

図 15 山陰部の処理

### 4.3 PC制御(PCソフト)

PCは、PLCデータを蓄積し、立体図形作成や各センサのトレンドグラフ表示を行う。また、PLCへアクセスでき遠隔操作も可能である。

#### (1) 立体図形表示機能

PLCで測定したデータを元に、貯炭形状の立体図形を作成している。

#### (2) トレンド表示機能

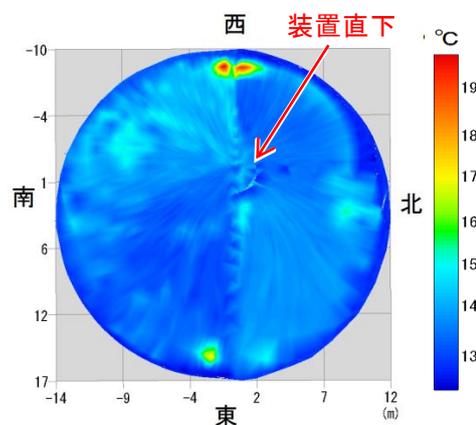
レーザ測定状況（パン角、チルト角、測定距離、レーザ反射強度）や各パージエア流量などのトレンドを表示させており、装置の健全性を確認することができる。これらのデータは無線LAN経由でPLCから取得している。

#### (3) 設定変更・任意測定機能

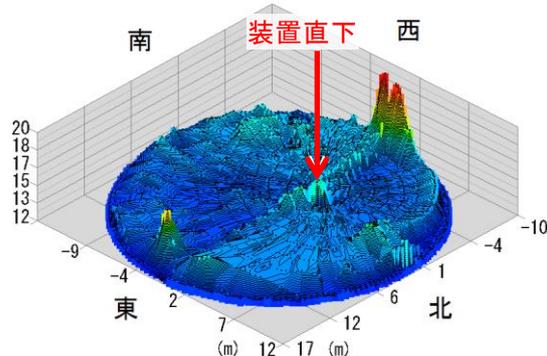
測定開始時間、測定マップ、仮ターゲット座標、モータ回転数など、PLCが制御している機器の設定変更ができる。この機能により、PCからPLCへ任意のレーザ走査測定などの遠隔操作が可能となっている。

#### (4) 石炭表面温度表示機能

本装置には、レーザ距離センサと共に防爆型放射温度計を搭載しており、石炭表面温度も同時測定している。平常時の温度差は僅かであり、0～45℃の温度幅では温度分布は明確ではないため、温度幅を13～20℃に調整したものを図16に示す。



(a) 平面図



(b) 平面図

図 16 石炭表面温度測定結果

## 5. 運用状況

### 5.1 貯炭体積量の測定結果

日中は石炭の受入や石炭バンカへの送炭(払出)により貯炭体積量に変化するため、夜間に貯炭体積量測定を行っている。日々の測定結果例を図17に示す。

貯炭形状の可視化向上のため、鳥瞰図にサイロ内壁を合成させている。

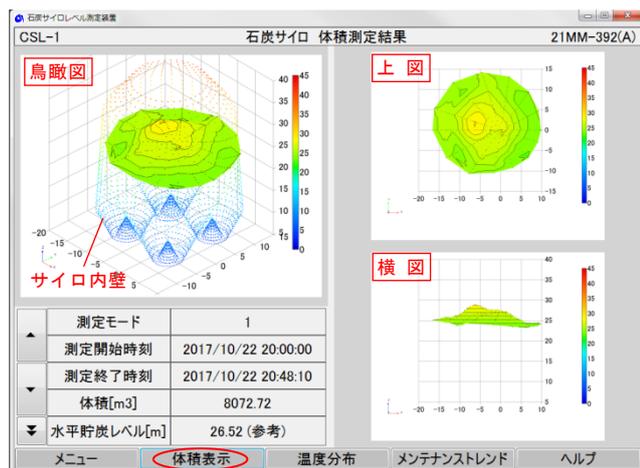


図17 体積量測定結果

### 5.2 温度の測定結果

石炭表面の温度測定結果を図18に示す。最高温度は約30℃であるが、壁際が局部的にやや高くなっていることがわかる。赤外線熱画像カメラのような高精度な発熱監視ではないが、簡易な監視機能としての活用が期待できる。

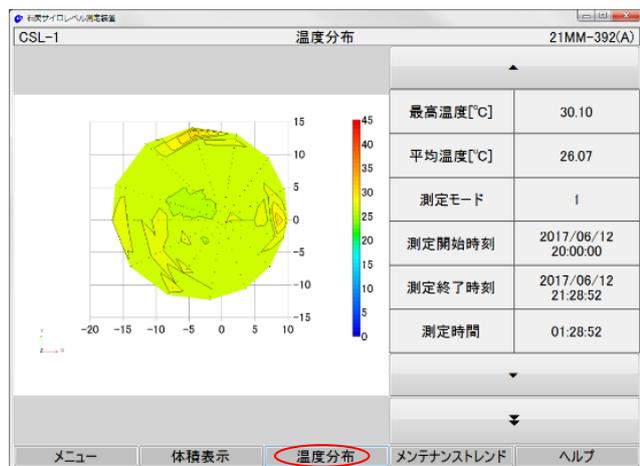


図18 温度測定結果

### 5.3 メンテナンストレンド

図18の温度測定と同日のメンテナンストレンド画面を図19に示す。1日を通して、各種パージエア流量は安定しており、20:00~21:30に貯炭体積量を測定していることがわかる。また、6:00ごろから日差しによるメカユニット温度の上昇、13:00からの石炭受入による石炭温度上昇などが読み取れる。

このように、メンテナンストレンドにより、装置の健全性を遠隔から確認することができる。

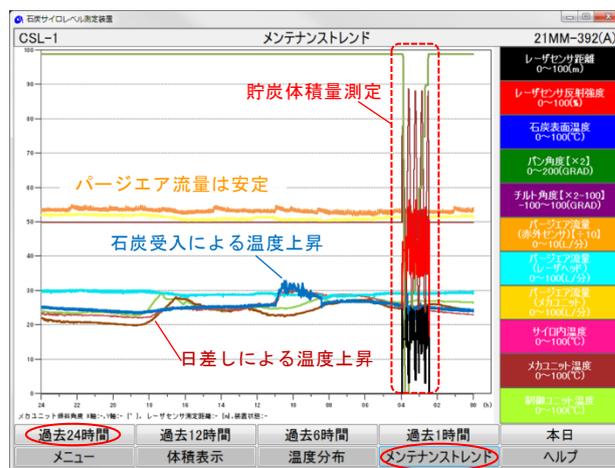


図19 水蒸気過多での連続測定

## 6. まとめ

レーザ走査式貯炭レベル測定装置は、H29年度の試運用において、トラブルなく安定した長期連続稼働が可能であり1年以上メンテナンスフリーであることを確認した。これにより、H30年度からは本運用されており、高精度の貯炭体積量測定に加え、サイロ内貯炭形状の可視化が実現でき、貯炭管理の高度化に貢献している。

### 【謝辞】

本研究は、四国電力(株)火力部より委託を受け実施したもので、ご協力いただいた関係各位に深く感謝いたします。