

## 施設をより省力的かつ安定に運営するための環境モニターシステム

○松岡亜衣<sup>#</sup>、石井晴乃、仁谷浩明、小山篤、豊島章雄、小菅隆、五十嵐教之  
高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所

### 1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 放射光実験施設 (Photon Factory, PF) では、リング型の光源加速器から発生する放射光を利用した実験が行われている。放射光は広い波長域 (エネルギー領域) の X 線を含み、その軌道に沿って並べられたビームラインの光学素子によって形状、エネルギー、偏光などを制御され、種々の実験装置へと導かれる。放射光を用いることで原子レベルの物質構造を解明することができるため、材料科学から生命科学、地球惑星科学まで幅広い分野で放射光利用研究が行われている。

近年の放射光利用研究では、より精密に制御されたナノスケール、マイクロスケールの放射光ビームが求められている。このような微小ビームを利用した実験では、今まで以上に環境変動の影響を受けやすくなるため、温湿度や冷却水流量といった環境データの需要が高まっている。PF 実験ホールでは以前より環境データの測定と収集を行うシステムが稼働していたが、実験ホール全域をカバーしきれず、また、設置から 20 年以上が経過しており故障している箇所も多くあった。このため、2020 年から 2021 年にかけてセンサーの一新を伴う大規模な再整備を行い、Web ブラウザ上でデータの確認が可能な環境モニターシステムを構築することとなった。

### 2. 放射光実験における周辺環境の重要性

PF 実験ホールの空調にはエアハンドリングユニットが使用されており、KEK エネルギーセンターから送られてくる冷水と温水を用いた熱交換により安定度  $\pm 1$  °C を目指した温度調整が行われている。図 1 は PF BL-15A において周辺気温とビーム位置の変動の関連を示したものである。BL-15A に設置された二結晶分光器では、平行に配置された 2 枚の結晶によって入射放射光が回折を起こし、限られたエネルギー幅の放射光のみが試料側へと抜けていく。今回、この分光器の上下流ビームパイプを取り外し、オートコリメータとミラーを設置した。オートコリメータから出射されたレーザーが 2 枚の結晶を経てミラーにより反射され、再び分光器内を通過してオートコリメータへと戻る仕組みである。こうして長時間光学的角度を測定したところ、周辺気温に伴って出射ビームの位置が変動することがわかった。これはオートコリメータを置いている架台やチャンバそのものの収縮が原因と考えられる。今回観測された分光器地点での数秒のビーム位置のずれは、10 m 下流の試料に届くころには数十  $\mu\text{m}$  のずれとなり、微小ビームを扱う上では大きな問題となる。このように実験中の空調温度の揺らぎはビームの不安定要因に大きく

関わるため、環境温度を把握し、一定に抑えることは重要である。

ビームラインで使用する冷却水は安定度  $23$  °C  $\pm 1$  °C を目指してビームラインごとに 20 L/sec または 50 L/sec で循環している。また、圧縮空気 (圧空) は KEK エネルギーセンターから平均 0.7 MPa で送り出され、実験ホール内に張り巡らされている。循環水や圧空はビームシャッターなどの放射線遮蔽機器のほか、あらゆるコンポーネントで使用されており、その安定供給は放射光実験を行う上で大前提となっている。

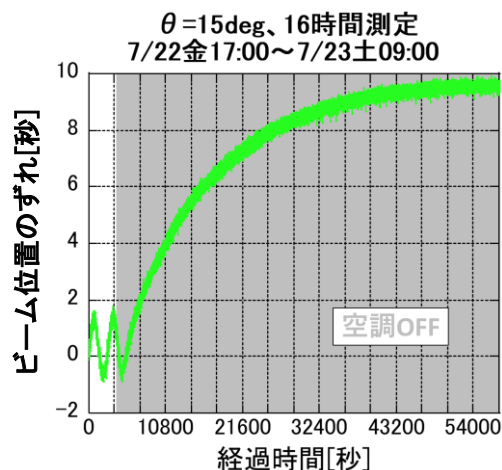
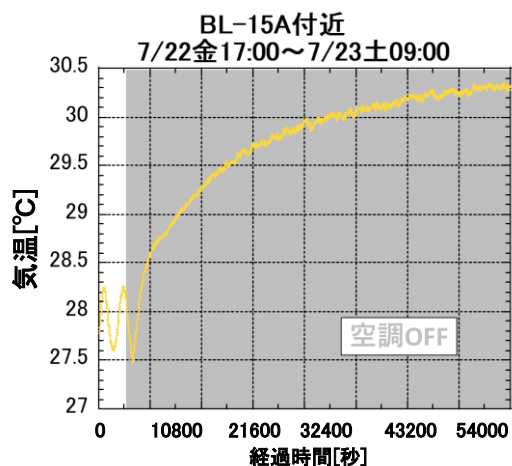


図 1. BL-15A における周辺気温 (上) とビーム位置変動 (下) の測定結果

### 3. 環境モニターシステムの整備状況

今回、新しく設置したセンサーは表 1 の通りである。実際には空調機からの風の向きや施設循環の始点・終点などの位置を踏まえて設置を行った (図 2)。

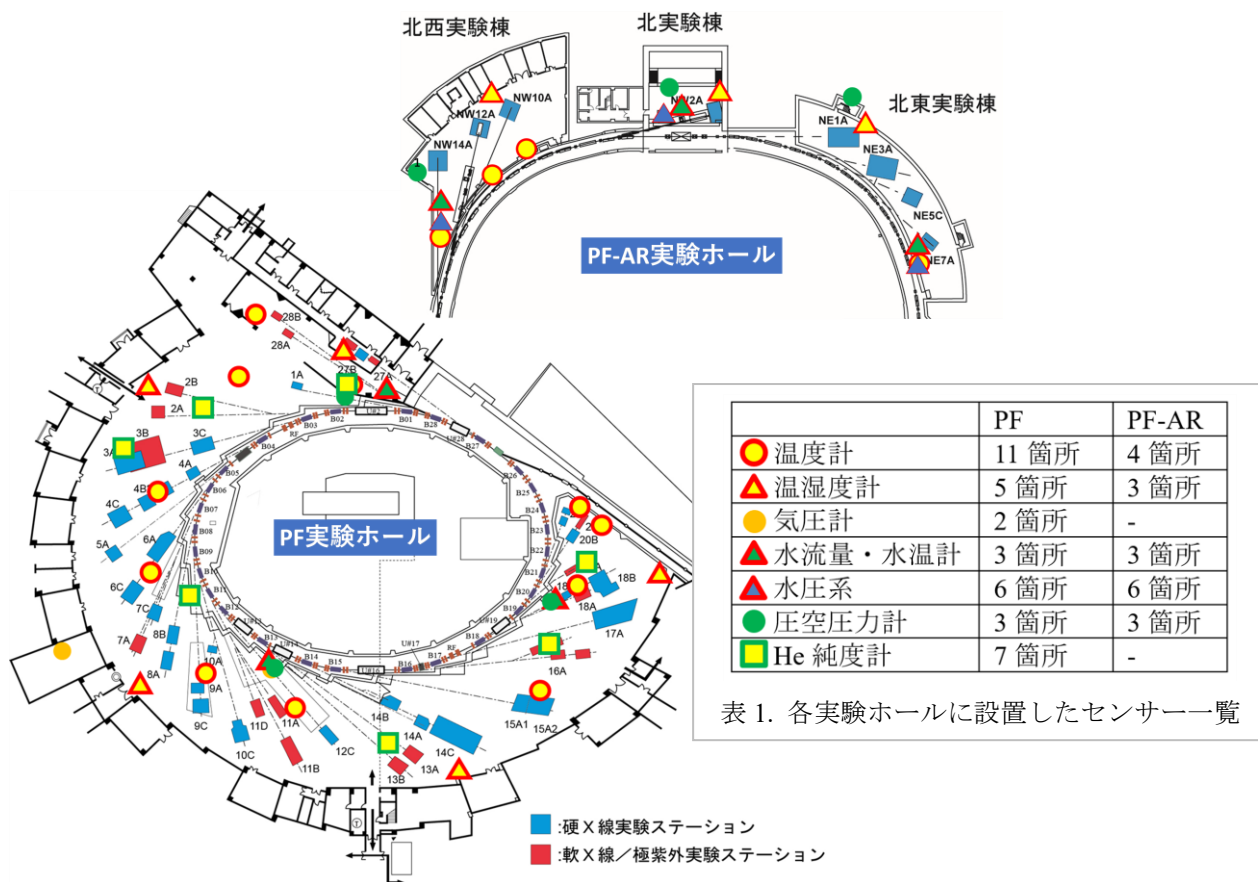


図 2. 各実験ホールのセンサー設置状況

これらに加えて、担当者からの要望を受け、4つのタンパク質結晶構造解析ビームラインで稼働している液体窒素循環装置のステータス（液体窒素温度、圧力）も本モニターシステムに取り込むこととした。

り現場へ行くことなく、実験ホール全体の環境情報を簡単に把握し、異常を素早く検知できるようになった。同時に、これまで詳細がわかっていなかったホール内の温湿度変動の様子や、場所による環境差も可視化することができた。

## 4. 取得データの活用

### 4.1 Web ブラウザ上での表示

各センサーにより取得したデータについて、ネットワークを経由して Web ブラウザ上での確認が可能なモニターシステムを構築した[1] (図 3)。これによ



図 3. Web ブラウザ上での表示例

### 4.2 空調調整へのフィードバック

取得データの活用例として、空調調整へのフィードバックを挙げる。図 4 左のグラフは PF 実験ホール内の外壁に設置した温度計の測定結果を示している。本モニターシステムにより、1 時間に 5 回、1 °C 程度の変動が確認された。この変動の様子を確認しながら空調機の PID 調整を繰り返すことにより、右のグラフのように安定度を ±0.5 °C 以下に改善できた。

### 4.3 機器異常の察知

取得された各種データは、機器異常の察知にも活用できる。PF-AR NW12 に設置されている液体窒素冷凍機が異常停止し、ビームラインでの実験が一時できなくなる事象が発生した。本モニターシステムに取り込まれていた NW12 の分光器の結晶温度のログを確認すると、異常停止発生前に行ったビームライン操作の直後から、上昇傾向だったことがわかる (図 5)。本モニターシステムを適切に監視していれば、ビームラインの一時使用不可を招く機器異常は回避できた。

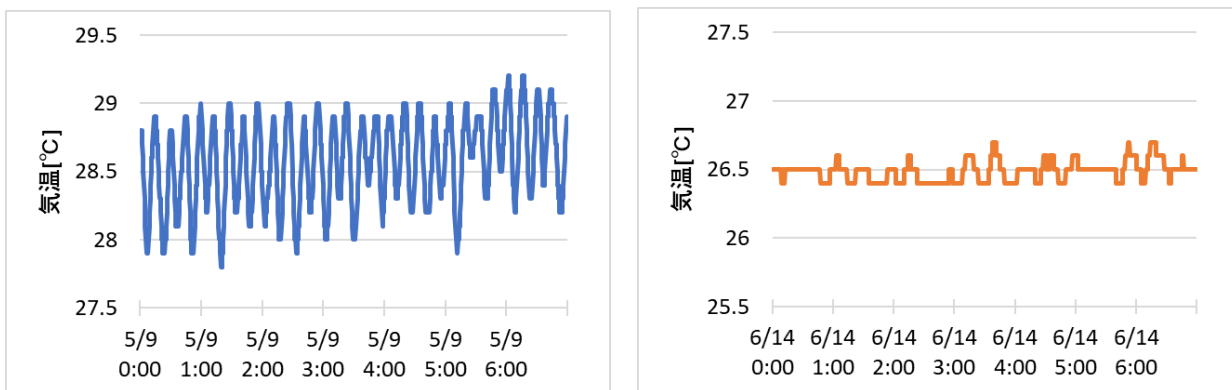


図4. 空調機PID調整前（左）と後（右）の実験ホール内気温変動の様子

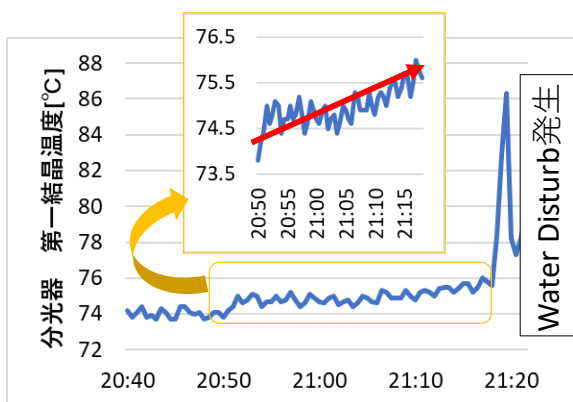


図5. ビームライントラブル（Water Disturb）発生前のAR NW12分光結晶温度の推移

## 5. おわりに

今回構築した環境モニターシステムで得られたデータは、施設整備へのフィードバックに役立てられ、施設のより省力的かつ安定な運営に結びついている。今後も引き続きデータの活用法を検討する。インフラ調整の自動化や機器の故障予測診断などに繋げていきたいと考えている。また、本システムにビームライン基幹部の水漏れ検知センサーも含める予定であり、現在はその準備を進めている。

## 参考文献

- [1] 石井 晴乃、ほか、9PS10「実験ホール環境モニターシステムの構築」、第35回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、2022年1月7日～9日。