

## シャットダウンから10年経過したKEK-PS施設の温湿度管理

### MANAGEMENT OF TEMPERATURE AND HUMIDITY OF KEK-PS WHICH HAS BEEN SHUT DOWN SINCE 2005

田中伸晃<sup>#,A)</sup>

A) KEK IPNS

#### Abstract

Operation of the 12GeV proton synchrotron (PS) was terminated at December 2005. KEK PS has been constructed by two parts. One is the accelerator facility; another is the physical laboratory facility. These KEK-PS facilities are still under the radiation control. Air conditioning equipment of KEK-PS has been stopped except the air circulation. After that, there is the rise in humidity at the KEK-PS. The facility, even shut down already, is required to maintain proper temperature and humidity to keep a good environment for persons and facilities. Several dehumidifiers have been placed at Linac and the Main Ring of the accelerator facility, and at the n-hall, EP1 line and downstream of EP1 line of the physical laboratory. In parallel, "Inflow control of the outdoor air" is adopted which we consider effective for decreasing humidity. As a result, we confirm the obvious decrease in humidity at the physical laboratory facility based on the data of the temperature and humidity. We can maintain the good environment at the physical laboratory facility for the proper humidity. This article describes how to maintain the long term shutdown accelerator facility, especially the way of management of the temperature and humidity is introduced.

#### 1. はじめに

シャットダウン後の加速器施設を適切な温湿度環境に保つことは、放射線管理の面でも好都合が多いとされる。

KEK-PSは、シャットダウンから10年以上経過しているが現在も、放射線管理の対象であり、放射線作業従事者以外は基本的に、立ち入ることができない。2006年以降、空調設備の温調機能が停止し、湿度が上昇した。

高湿度状態が長く続くと、結露が発生する。加速器施設で発生した結露水は一部、放射化したコンクリート壁中の水分を起源としており、トリチウムを含有しているため、入域者への影響が心配される。高湿度状態は、保管している鉄材等でできた放射化物の腐食を進めるので好ましくない。その後、施設管理者によって除湿機器が整備され、高湿度は緩和された。

東海のハドロンホールでは、「最低限の空調設備」と「適切な換気」により、90%以上あった湿度を50%程度まで下げることができた。2015年4月より、ハドロンホールの方式を「素核研PS」に適用したところ、優位な結果が得られたので報告する。

#### 2. EP1下流部における高湿度対策

##### 2.1 過去の研究から得た知見

シャットダウン後の加速器施設で重視するのは、高湿度対策である。ハドロンホールをはじめ、これまでの蓄積から、次のことがわかっている。

- 除湿においては、最低限の空調でも効果的である
  - 適切な換気は、温湿度管理に効果的である
  - 適切に換気された空間においては、空気中の水蒸気量は拡散し、分布が均一になる傾向である
  - 非空調建屋の水蒸気量は、外気とほぼ一致する
- 具体的な内容は、拙著の「参考文献」にあるので、そちらを参照いただきたい。

##### 2.2 EP1下流部

EP1下流部は、かつてKEKから神岡に向けてビームを送っていた通称、K2Kラインである。施設の概要と空調設備、温湿度ロガーの位置をFigure 1, 2に示す。



Figure 1: Each part of downstream of EP1 line.

<sup>#</sup> ntanaka@post.kek.jp

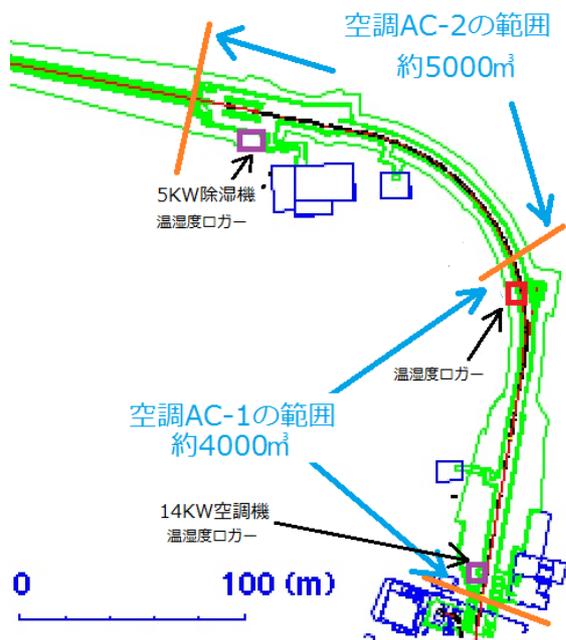


Figure 2: Layout of downstream of EP1 line.

### 2.3 2005年から2010年までの施設管理

EP1下流部の管理は「管理区域担当者」の任務である。歴任者によると、データも文書も残っていないが、2005年のシャットダウン以降、環境が高湿度となり、結露水の処理が問題になったとのことである。

ここからは、素核研の空調機が設置された2011年以降の記録を報告する。

### 2.4 空調機器の設置

施設の規模は、容積でおよそ9000 m<sup>3</sup>である。

高湿度環境改善への議論で「有効な除湿と換気」の観点から、以下の提案が出た。

- 湿度低下のため、現有の空調機を用いる
- 換気も湿度低下に効果的なので、温調機能はないが施設部の空調も有効に用いる

空調設備のうち、図中 AC-1、AC-2 とあるのは、施設部で設置したビームライン全体の空調設備である(Table 1。以下、施設空調)。現状の機能は、室内空気の循環と外気導入のみで温湿度調整はない。

Table 1: Spec. of the Air Conditioner (only circulation)

機器名	電動機出力	定格電流	風量
AC-1	30kw	112A	31500 m <sup>3</sup> /h
AC-2	37kw	140A	41500 m <sup>3</sup> /h

2011年に素粒子原子核研究所(以下、素核研)により、ビームライン上流の14kw空調機(以下、空調機)と下流の5kw除湿機(以下、除湿機)が設置された。これらは、温湿度調整機能を有している。空調設備が有する除湿能力は温湿度条件によって値

が変わるが、空調機が約200L/day。除湿機が約80L/dayとされている。

温湿度を記録するデータロガーはこれまでに、上流部、中間部、下流部の計3カ所に設置した。

### 2.5 2011年夏季における施設内の温湿度

2011年当時、空調機は25℃に設定。除湿機は夏季に連続運転とした。施設空調は節電のため当初はオフであった。Figure 3のグラフは、2011年7月から9月までの外気と施設内の絶対湿度(g/m<sup>3</sup>)比較である。

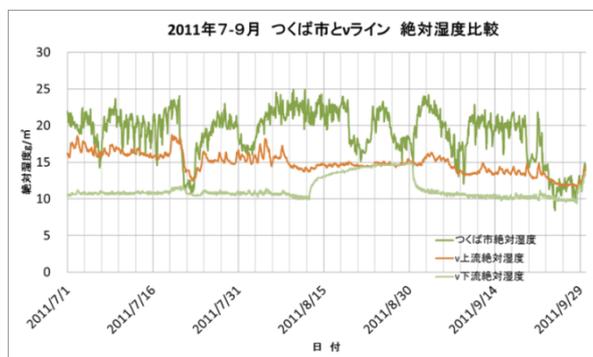


Figure 3: Volumetric humidity(g/m<sup>3</sup>) in 2011.

Table 2: Average Data of Air in 2011

2011年7月～9月の平均値データ

	気温	湿度	絶対湿度
つくば市	25.18 °C	81.80 %	19.01 g/m <sup>3</sup>
v上流	23.50 °C	70.49 %	14.89 g/m <sup>3</sup>
v下流	22.05 °C	58.56 %	11.36 g/m <sup>3</sup>

2011年のデータ(Table 2)を見ると、ニュートリノ上流部の平均気温は23.50℃であるため、設定温度25℃ではあまり冷房機能は働かなかつたと考えられるが、それでも外気より湿度は低くなっている。下流の湿度が最も低くなっているのは、除湿機に近く、高い除湿効果が出ていると考えられる。

### 2.6 2012年から2014年までの温湿度

2012年から2014年までの間、区域担当者が決めた空調の運転方針は次の通りである。

- 施設空調は通年運転(2011年は長期間停止)素核研空調機、除湿機の運転は基本的に夏季のみ
- 上流の空調機は2012年、25℃設定。2013-2014年は20℃設定で運転
- 下流の除湿機は、夏季に連続運転

Table 3: Average Data of Air in 2012

2012年7月～9月の平均値データ

	気温	湿度	絶対湿度
つくば市	25.47 °C	79.23 %	18.56 g/m <sup>3</sup>
v上流	23.33 °C	86.22 %	18.13 g/m <sup>3</sup>
v下流	26.82 °C	70.15 %	17.83 g/m <sup>3</sup>

2012年のデータ(Table 3)を見ると、つくば市のデータは前年に近い数値である。それに対して施設内の環境は、上流は気温がほぼ前年と同じだが、湿度が大きく上昇している。下流は気温、湿度とも大きく上昇する結果となっている。絶対湿度は外気(つくば市)と近い数値である。

夏季以外の、1-3月、4-6月、10-12月ほどの期間も、施設内の絶対湿度は概ね外気に近い数値である。

Table 4: Average Data of Air in 2013

2013年7月～9月の平均値データ

	気温	湿度	絶対湿度
つくば市	25.05 °C	78.70 %	18.16 g/m <sup>3</sup>
v 上流	24.33 °C	61.99 %	13.86 g/m <sup>3</sup>
v 下流	26.48 °C	63.21 %	15.92 g/m <sup>3</sup>

2013年における空調運転の方針として、空調機の設定温度を25°Cから20°Cへ変更した。その他は同じである。2013年のデータ(Table 4)を見ると、つくば市は前年と比較し気温、湿度とも低下している。施設内の環境は、上流は気温が上昇し、湿度が低下した。下流は気温、湿度とも若干、低下した。上流の絶対湿度は大きく低下し、外気、下流部より低い数値である。

夏季以外の、1-3月、4-6月、10-12月の期間は前年比で、上流の絶対湿度が若干、外気より低い数値である。

Table 5: Average Data of Air in 2014

2014年7月～9月の平均値データ

	気温	湿度	絶対湿度
つくば市	23.93 °C	80.33 %	17.38 g/m <sup>3</sup>
v 上流	23.84 °C	68.24 %	14.81 g/m <sup>3</sup>
v 下流	データ無し		

2014年における空調運転は、前年と同じである。

2014年のデータ (Table 5) を見ると、つくば市は前年と比較し気温と絶対湿度が低下していることがわかる。施設内の上流は、気温は外気に近く、湿度は低くなっている。この傾向は前年2013年と同様である。下流はデータが存在しない。

夏季以外の、1-3月、4-6月、10-12月の期間は、前年2013年度とほぼ、同様の傾向である。

## 2.7 2013年 施設空調停止の実験

2011年と2012年のデータ(Table 2,3)を比べると、施設空調を停止した2011年夏の温湿度は、他の年と比べ、湿度が低いのが特徴的である。施設空調は内気循環の機能のほか、外気も取り入れているため、夏場において施設空調の運転は、施設内の湿度に影響を与えていると考えられた。

このため、放射線担当者、ハドロン実験室グルー

プと協議し2013年7月の2週間、施設空調を停止し、温湿度の変化を調べるようになった。

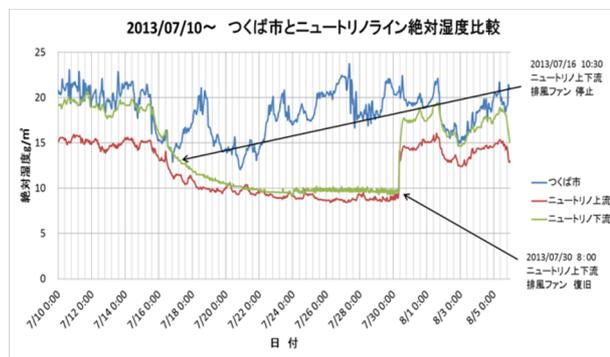


Figure 4: Volumetric humidity(g/m<sup>3</sup>) in July 2013.

2013年7月16日10:30に、施設空調を停止した。

Figure 4のグラフを見る。外気の絶対湿度は、日によって変化があるものの、20g/m<sup>3</sup>前後まで上昇した。それに対して「EP1 下流部(ニュートリノライン)」は、上流、下流とも次第に湿度が低下していく動きである。7月22日、10g/m<sup>3</sup>近辺で収束し、以後は湿度低下が鈍化する。

7月30日の朝、再び施設空調が稼働されたが、直後より湿度が上昇した。以後、施設空調の運転は継続された。下に示す7月～9月の絶対湿度を見ると、上流は外気より低い、下流は外気と連動した動きを示している。

下記 Figure 5 のグラフは、2013年夏季における絶対湿度変化である。

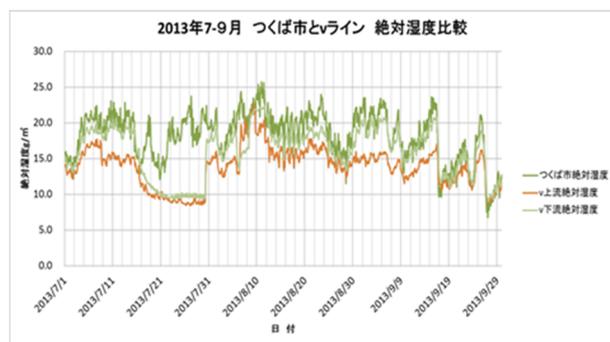


Figure 5: Volumetric humidity(g/m<sup>3</sup>) summer of 2013.

## 3. 2015年以降の測定結果

### 3.1 2015年のEP1下流部温湿度

2015年4月1日に、EP1下流部も含む「放射線管理第2区域担当者」に任命された。担当者として、空調運転の方針を、次のように決めた。

- 施設空調は停止する  
理由は、2013年夏に実施した「施設空調停止」が「湿度抑制に効果あり」と評価したからである。素核研空調機、除湿機はこれまで通りとする。

Table 6: Average Data of Air in 2015

2015年1月～3月の平均値データ			
	気温	湿度	絶対湿度
つくば市	5.54 °C	63.16 %	4.46 g/m <sup>3</sup>
ν上流	22.13 °C	19.47 %	3.82 g/m <sup>3</sup>
2015年4月～6月の平均値データ			
	気温	湿度	絶対湿度
つくば市	17.86 °C	75.94 %	11.62 g/m <sup>3</sup>
ν上流	22.10 °C	55.13 %	10.78 g/m <sup>3</sup>
ν下流	17.62 °C	69.85 %	10.55 g/m <sup>3</sup>
2015年7月～9月の平均値データ			
	気温	湿度	絶対湿度
つくば市	24.22 °C	84.04 %	18.45 g/m <sup>3</sup>
ν上流	21.01 °C	66.82 %	12.28 g/m <sup>3</sup>
ν中間部	19.14 °C	64.09 %	10.55 g/m <sup>3</sup>
ν下流	20.23 °C	49.60 %	8.69 g/m <sup>3</sup>
2015年10月～12月の平均値データ			
	気温	湿度	絶対湿度
つくば市	12.12 °C	75.86 %	8.46 g/m <sup>3</sup>
ν上流	20.23 °C	60.61 %	10.67 g/m <sup>3</sup>
ν中間部	19.59 °C	59.41 %	10.05 g/m <sup>3</sup>
ν下流	19.67 °C	57.13 %	9.68 g/m <sup>3</sup>

Table 6の表は、2015年における3カ月ごとの平均値データである。それぞれの特徴について述べる。

2015年1月～3月は施設空調の停止前であり、前年までのデータと比べ、特徴的なものはない。

2015年4月～6月は、上流の気温が上昇。下流は気温、絶対湿度が前年比で低下している。下流の気温低下は、これまでに無かった特徴である。

2015年7月～9月は、上流は気温湿度とも低下。下流の気温と湿度は、これまでで最も低い数値であった。2011年も他年と比べ、気温湿度とも低い傾向であったことから、外気導入は湿度だけでなく、気温にも影響を与えることが考えられる。この時から、ビームライン中間部にも温湿度ロガーを設置した。気温は下流より低く、湿度は上流と下流の中間的な数値であった。

2015年10月～12月は、施設内の気温が若干、下がった。湿度は3地点とも例年比で高く、近接した数値である点が特徴である。

### 3.2 2016年のEP1下流部温湿度

2016年の空調運転の方針として、上流の空調機は停止することを決めた。2016年の温湿度データは、7月下旬のデータまで収集している。

Table 7: Average Data of Air in 2016

2016年1月～3月の平均値データ			
	気温	湿度	絶対湿度
つくば市	5.89 °C	67.65 %	4.92 g/m <sup>3</sup>
ν上流	18.02 °C	52.89 %	8.15 g/m <sup>3</sup>
ν中間部	19.14 °C	48.58 %	7.99 g/m <sup>3</sup>
ν下流	19.27 °C	44.12 %	7.32 g/m <sup>3</sup>
2016年4月～6月の平均値データ			
	気温	湿度	絶対湿度
つくば市	18.07 °C	74.69 %	11.64 g/m <sup>3</sup>
ν上流	19.45 °C	68.20 %	11.48 g/m <sup>3</sup>
ν中間部	18.97 °C	65.64 %	10.30 g/m <sup>3</sup>
ν下流	19.06 °C	68.22 %	11.17 g/m <sup>3</sup>

Table 7の表を見る。2016年1月～3月は前年までと比べ、施設内の気温が低下傾向である。それよりも特徴的なのは湿度が上昇し、絶対湿度が約8g/m<sup>3</sup>を記録。この時期としてはこれまでの最高値である。前年までの平均は4g/m<sup>3</sup>台であったことと比べると、大きな上昇である。

2016年4月～6月は前年比、上流は気温が低下し、湿度は上昇している。下流は気温湿度とも若干、上昇している。

下流の除湿器は7月1日より運転開始した。7月1日～25日までの上流の温湿度は全体として、気温20～21°C、湿度65～70%、絶対湿度12.5g/m<sup>3</sup>前後であり、前年並みの数値である。

今後の温湿度を見ながら空調機の停止継続、あるいは運転再開を判断する。

夏の高湿度対策は本件の主要テーマであり、のちのデータを収集後、あらためて報告したい。

### 3.3 施設内のCO2濃度

空気巡回を止めたことにより、空気の汚れが心配との声が上がった。中間部データロガーは、CO2測定機能を有している。CO2濃度の変化を、Figure 6に示す。

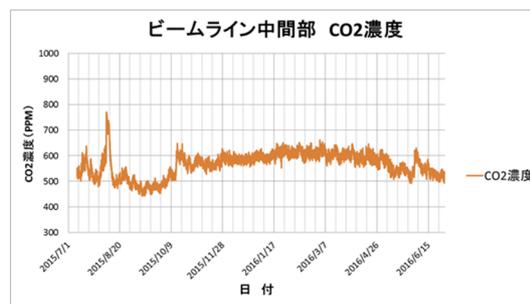


Figure 6: CO2 concentration in the facility.

約1年間の測定記録では、平均600ppm程度である。必要換気量を確保したとする基準は、1000ppm以下とされていることから、現状はその範囲内に収まっている。

#### 4. まとめ

容積 9000 m<sup>3</sup>の施設では本来、数百 kw の空調能力が必要であるが、上流下流で計 19kw の空調で効果的な除湿ができた。「除湿においては最低限の空調でも効果的である」との知見を、本件でも示すことが出来たと思う。

「外気は空調負荷である」という着眼のもと、外気取り入れを伴う空気循環を停止したところ、2015年の夏季において湿度低下の結果が出た。「適切な換気は、温湿度管理に効果的である」との知見についても、説明できる結果であったと思う。

省エネという観点でも、電動機出力計 67kw の施設空調の停止は、大きな節電効果である。

以上から、温湿度管理、省エネという点でこれらの取り組みは、効果的であった。

#### 5. 課題と展望

残る課題として、施設の換気がある。施設空調が停止状態でも、人の出入りが少なければ空気汚れ、CO<sub>2</sub> 濃度上昇は少ないが、ある程度的人数が入る場合は、不十分である。

放射線管理の立場から、施設内空気の放射線レベルを低減するためにも、換気は必要である。

施設空調は換気設備として有効だが、24 時間運転は換気量として過剰な上、せっかくの除湿効果を損なう。人が入る都度、居室や実験室から遠く離れた機械室まで行って操作することも、費用や手間がかかる上、能率的ではない。一つの案として、施設空調にタイマーを取り付け、1 日に 1 時間程度、自動運転するなど、必要とされる換気量分だけ運転する方法などが考えられる。放射線、施設担当者とも有効な方策を協議し、進めていきたい。

高エネルギー加速器の廃止後の加速器施設の維持は、長きに続くものである。

本件は、効果的な温湿度管理という安全管理面と、コストを両立させた実例として、他の現場への活用も有効と考える。また、廃止後施設のみならず、現役施設においても活かせる現場があると思う。

高湿度対策は、有効な安全対策である。これからも現実の課題に対して、より有効な対策を考え対応していく。

#### 謝辞

放射線区域責任者の松村宏様。加速器研究施設の高野進様をはじめ、加速器 P S の管理に関わる方々。そして、イムケヨブ様をはじめ歴代の放射線区域担当者の方々。P S シャットダウン以降の、皆様の蓄積が役に立ちました。この場をお借りして、感謝申し上げます。

#### 参考文献

- [1] KEK, “Beam Channel Group”, KEK Annual Report, 2005.
- [2] N. Tanaka, “ハドロンホール結露発生原因の解明と対策効果の検証”, 平成 24 年度愛媛大学総合技術研究会.
- [3] N. Tanaka, “建屋内における湿度分布の研究”, 平成 25 年度核融合科学研究所技術研究会.
- [4] N. Tanaka, “安全で快適な環境をつくる高温低湿空調”, 平成 26 年度北海道大学総合技術研究会.
- [5] ダイキン工業, “ダイキン工業 工場用設備用 製品カタログ”, 2012 年.