

脱気筒の温度・湿度計測実験について

2012年8月1日開始

2012年8月20日終了

宇都宮大学大学院 工学研究科
学際先端システム学専攻
熱流動解析研究室
川原田翔悟

1. 緒言

コンクリート中の水分は建物の劣化に大きく影響する。脱気筒は前述の水分を取り除くことが出来るだけでなく、躯体の温度を下げることで、夏場の冷房に使うエネルギーを減らすことが出来ると期待されている。

しかし、実験データ等の不足から実際にどれほどの効果を発揮しているかは未知の部分が多い。そのため今回は夏場の暑い時期に 20 日間に渡り温度及び湿度の測定を行う。また測定中に約 3 日間ファンを停止させる。

2. 実験内容

脱気筒の性能試験のため栃木県消防学校の防災館および倉庫を測定会場として使用させていただいた。倉庫の屋上は防水シートのみだが、防災館の方には屋上の防水シートと躯体の間に断熱材がしかれている。

防災館と倉庫の防水層内、脱気筒内の 4 箇所、倉庫の屋上外気を 1 箇所。合計で 5 箇所の温度と湿度を 20 日間に渡り計測を行った。また倉庫には温度のみのデータで、防水シート表面、天井、南壁表面、南壁裏面、室温の 5 箇所のデータを集めた。

これらにより計測された値について

- ・倉庫の温度
- ・倉庫の湿度
- ・防災館の温度
- ・防災館の湿度

という点に注目して考察を行う。特に今回の実験では 8 月 7 日 10 時から 8 月 9 日 16 時までファンを停止させている。ファンの影響がどの程度あるのかを考察していく。

3. 結果と考察

3.1 倉庫（断熱材なし）温度について

Fig.1 及び Table1 は 8 月 5 日から 8 月 10 日の外気，脱気筒，防水層，防水シート表面，天井，南壁表，南壁裏，倉庫室温の温度のデータをまとめたものである。

直射日光を受け続ける防水シート表面は 60℃ 近くまで熱せられる。これに対し防水層内は 40℃ を上回ることなく推移している。つまり躯体の表面温度を 20℃ 下げることができている。8 月 6 日のデータが他に比べて低くなっているが、これは単純に天気が曇ったことによるものと思われる。ファンの停止前後を見比べてみると、ファンが停まっているのにも関わらず全体的に右下がりのグラフとなっている。値で示すと以下の表の通りである。ファンの再作動後となる 8 月 10 日の気温が大きく下がったように見えるが、これは防水シート表面の温度が下がっているだけで、他の値に大きな変化は見られない。6 日と同じく曇が多い天気だったためと考えられる。

また夜の冷えた外気と、温度の下がりにくい防水層との温度差で結露が起こることについては

$$(\text{防水層内温度}) - (\text{温度差}) \times \frac{\text{熱伝達係数}}{\text{熱貫流抵抗}} = \text{断熱材の防水層側表面温度} \quad (3.1)$$

を使い求めることができるが、防水シートの熱伝達率など未知の定数があるため倉庫については求めることができなかった。

		8/5	8/6	8/7	8/8	8/9	8/10
外気	最大	39	32.6	35.6	32.2	33.7	34.2
	最小	24.1	23.4	21.2	19.3	20.4	19.7
脱気筒	最大	39.8	35.4	39	34.7	37.9	37.6
	最小	24.3	23.5	21.1	19.2	20.6	19.7
防水層	最大	39.6	34.4	38.3	35.4	36.9	36.2
	最小	29.6	27.7	25.6	24.8	25.6	24.8
屋根表	最大	59.6	49.4	59.6	58.4	59.5	54.2
	最小	24.2	22.8	20.2	18	20.6	19.2
天井	最大	33.8	33.5	31.8	31.4	30.7	30.9
	最小	32	31.4	30.3	29.9	29.1	29
南面	最大	43.8	38	42.1	37.2	41.5	41.6
	最小	28.4	27.3	25.4	24.6	24.3	24.4
南裏	最大	36.1	33.6	33.7	31.5	32.3	33.4
	最小	31	30.7	29	28.7	27.6	27.7
室温	最大	32.9	32.5	31	30.7	29.9	30.3
	最小	31.2	30.9	30.1	29.4	28.7	28.5

Table 1 8 月 5 日から 10 日までの温度の最大値と最小値 [℃]

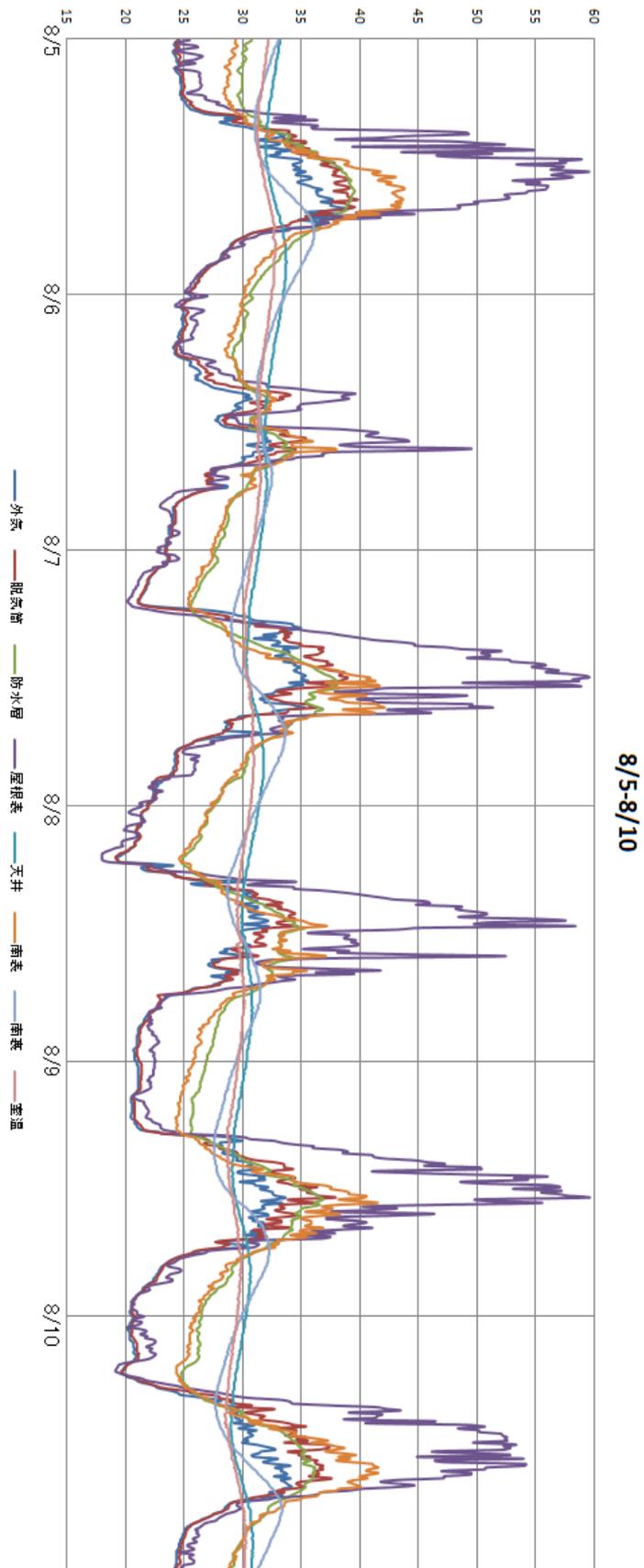


Fig.1 8月5日から10日までの各測定点での温度 [°C]

3.2 倉庫（断熱材なし）湿度について

Fig.2, Fig.3 は外気湿度と脱気筒湿度の 1 日における変化を表したもので、ファンを作動させていた 8 月 2 日とファンを停止させていた 8 月 8 日のものを比べてみる。

8 月 2 日のデータを見ると外気の湿度より脱気筒から排出される空気の湿度のほうが高くなっている。これは防水層内の湿った空気を脱気筒が排気しているためである。しかしファンを停止した 8 月 8 日のデータを見ると、外気の湿度のほうが大きくなっている箇所が多く見られる。つまり、脱気筒のファンが作動していないと脱気筒は役目を果たすことができない。8 月 2 日の脱気筒の湿度が 8 月 8 日のものと比べると激しく波打っているが、これはファンの電源に太陽光パネルを使用しており雲が出ているなど太陽が陰ったときはファンを回すことができていないからである。

また外気の温度と湿度から空気中の水分量を求め、同じく脱気筒の温度と湿度から脱気筒内の水分量を求め、これらの差を求める。また脱気筒に付いているファンの直径を 0.08m、能力を 0.3m/sec とすると、通風量は $0.0904779\text{m}^3/\text{min}$ となる。測定間隔が 10 分なので、 $10 \times 0.0904779 \times [\text{水分量の差}] = [\text{脱気筒により排出された水分量}]$ として、ファンを作動させた日とファンを止めた日の違いを算出してみたところ

- ・ファン作動時 448.1 g (8/2 のデータ)
- ・ファン停止時 35.6 g (8/8 のデータ)

という結果になった。防水層の温度上昇により空気が膨張してファンがなくても脱気筒から空気が出ていくという予想もあったが、夜になり外気の温度が下がっても防水層内の温度は高いまま保存されており、空気が膨張することでおこる自然対流での脱気を行うには十分な温度差が得られていないと考えられる。

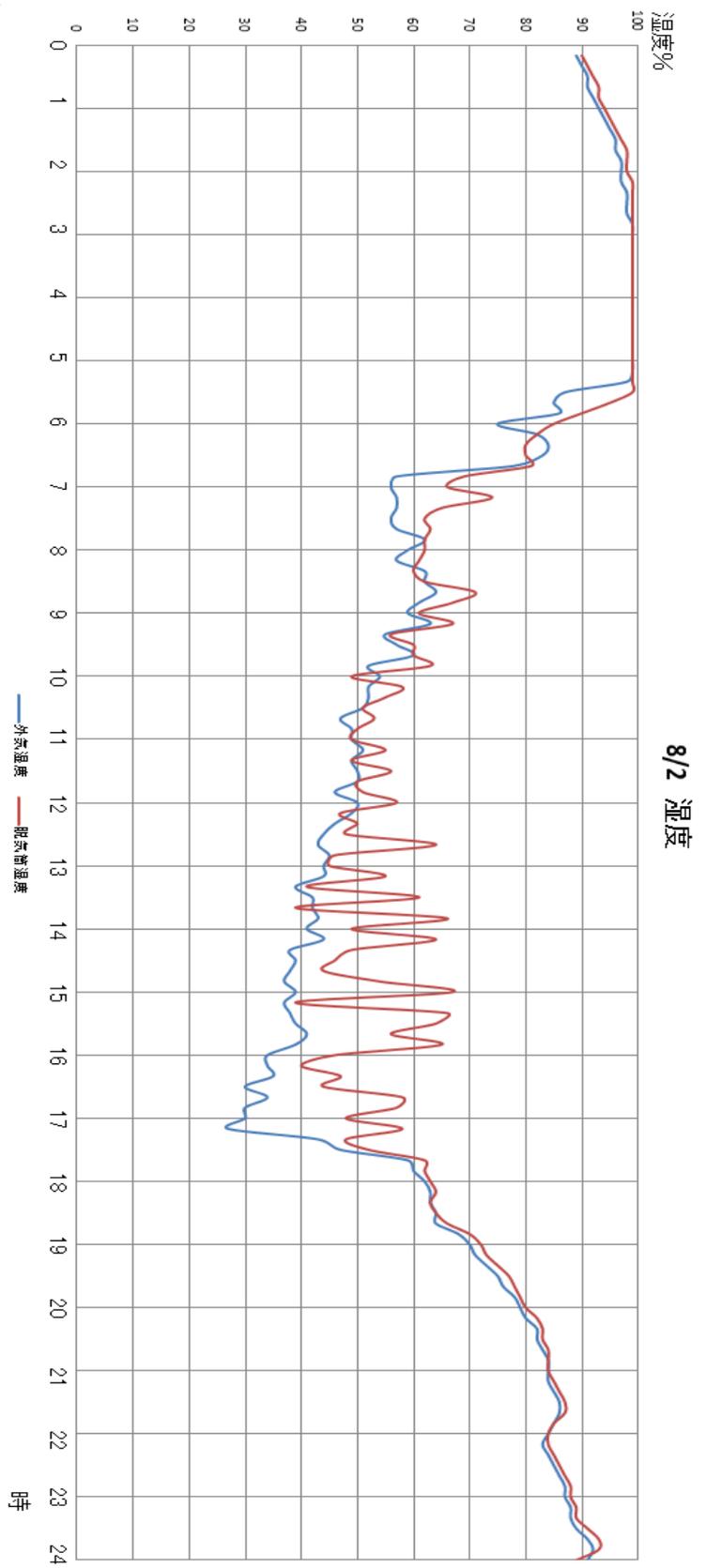


Fig.2 8月2日の湿度の変化 [%]

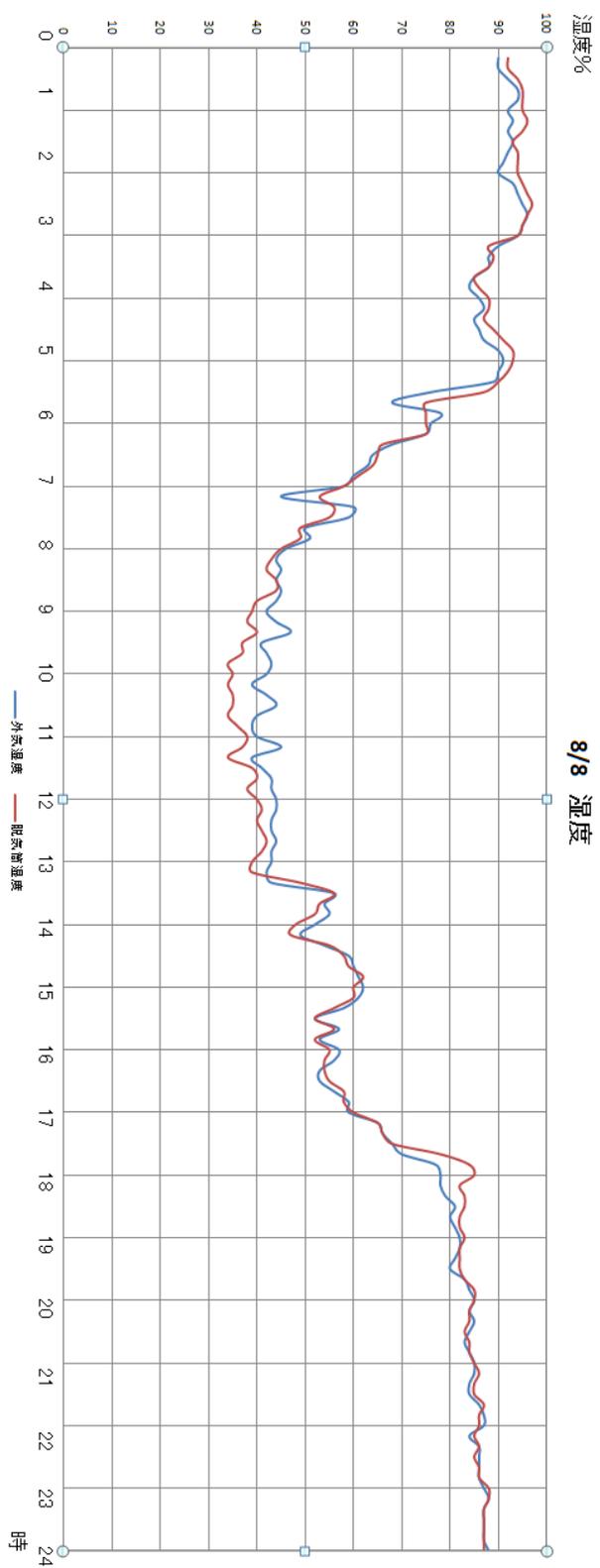


Fig.3 8月8日の湿度の変化 [%]

3.3 防災館（断熱材あり） 防水シート内の温度について

ファンの運転時と非運転時における防水シート内の温度の差について Table2, Fig.4 から考察する。ファン停止が 8 月 7 日 10 時である。前日と比べると温度の上昇が激しいように見えるが、この上昇はファン停止前の 7 時頃から始まっているためファンの作動非作動とは関係がないと考えられる。この日の最大温度は 33.5℃である。前日の最大温度は 31.7℃なので上がっているが、翌 8/8 の最大温度はファンを回していないにもかかわらず 32.7℃と低くなっている。さらにファンを再作動させた翌日である 8 月 10 日 14 時 30 分前後で温度は 34.5℃となっていることから、現状のファンでは防水層内の温度には影響を与えることができていないと考えられる。

測定開始直後最大値 32.8℃ 最小値 29.5℃だが、測定から 18 日たった頃には最大値 38.6℃ 最小値 35.9℃と最大値最小値共に上昇している。これは昼間に断熱材に蓄積された熱量が夜間に十分冷やされることなく、再び日にあたり加熱され続けたことによると考えられる。倉庫の最大温度は 40 度を越したりもしているが、夜間になると 27 度前後まで冷却されている。それに比べ防災館は最大温度こそ倉庫より 1, 2 度低いですが、夜間の温度が倉庫に比べ 8 度近く上回っている。夏場についてのみ考えると断熱材は蓄熱材として働いてしまうので、ないほうが良いと考えられる。この結論について反論するには冬場にも実験を行う必要がある。

断熱材と屋根のコンクリートとの間に結露が発生するのだが、こちらについても式(3.1)を使い考えてみる。こちらは断熱材としてフェノバボードを使用しており、同断熱材はインターネット上に物性値が公表されている。防水シートの物性値は不明なので、防水シートをないものとして計算を行ったところ、フェノバボードの熱伝導率は 0.019(W/m・K)と小さいので断熱材表面の温度が防水層内の露点より低くなることは見られなかった。

		8/13	8/14	8/15	8/16	8/17	8/18	8/19
倉庫	最大値	37.2	34.5	36.3	39.1	40.7	35.2	37.4
	最小値	26.3	27.6	27.1	27.2	28.2	27.2	26.5
防災館	最大値	37.1	36.5	37	37.7	38.4	37.6	38.6
	最小値	34.3	35.1	35.2	35.4	35.8	35.7	35.9

Table2 防水層内温度の最大最小値の遷移

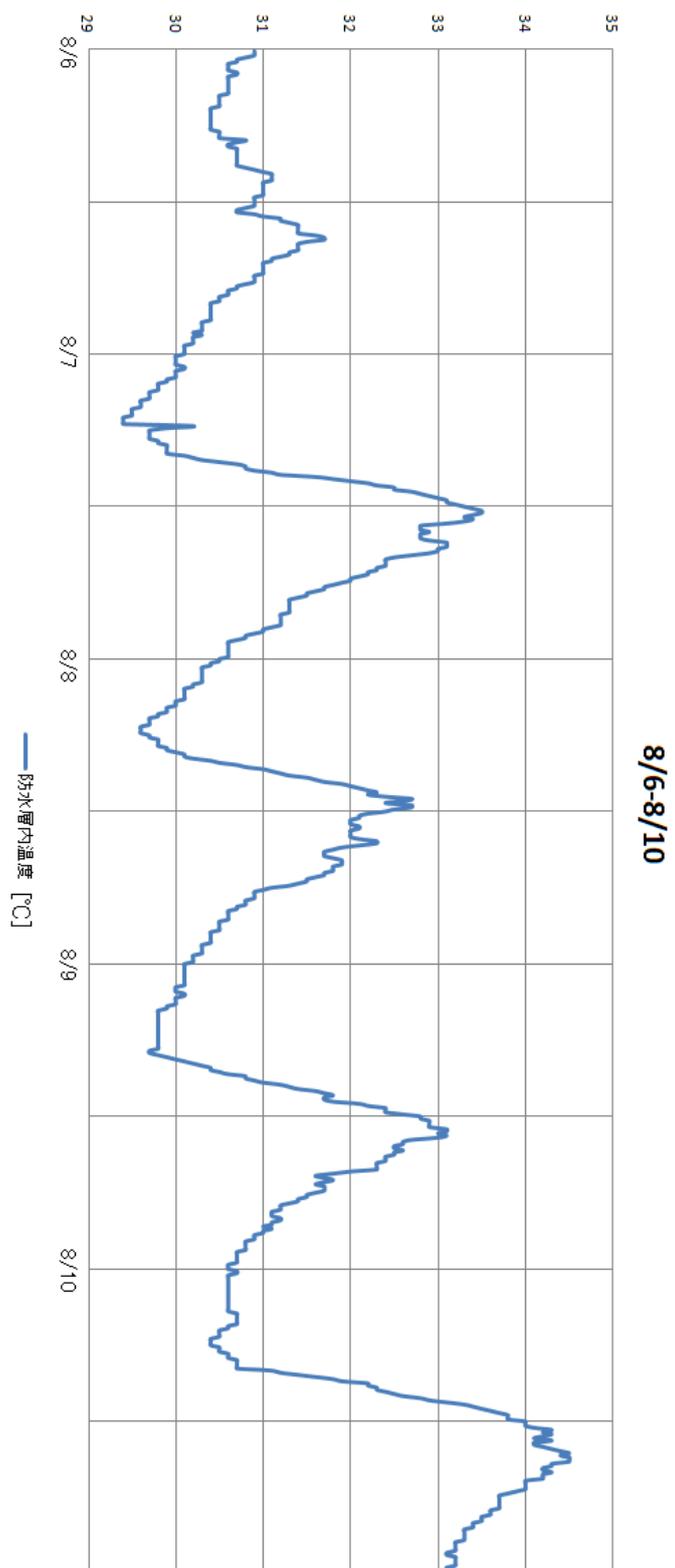


Fig.4 8月6日から10日までの防水層内温度の遷移 [°C]

3.4 防災館（断熱材あり）防水層内湿度について

測定開始から 11 日間はセンサーの調子が悪く湿度がずっと 99%を指してしまっているの
で、ファンを止めた 8/7 から 8/9 のデータを活用することが難しい。

8/15 のデータを見てみると、6 時を過ぎたあたりから急激に防水層内の湿度が上昇してい
る。外気や脱気筒の湿度が大きく変化するの、温度が変化するためであり、空気中の単
位体積あたりの水分含有量は大きく変化しない。しかし、防水層については大きな温度の
変化がないにもかかわらず、湿度だけが急激に上昇している。これは過剰に水を吸って
いるコンクリートから水分が空気中に滲み出てきているものと考えられる。

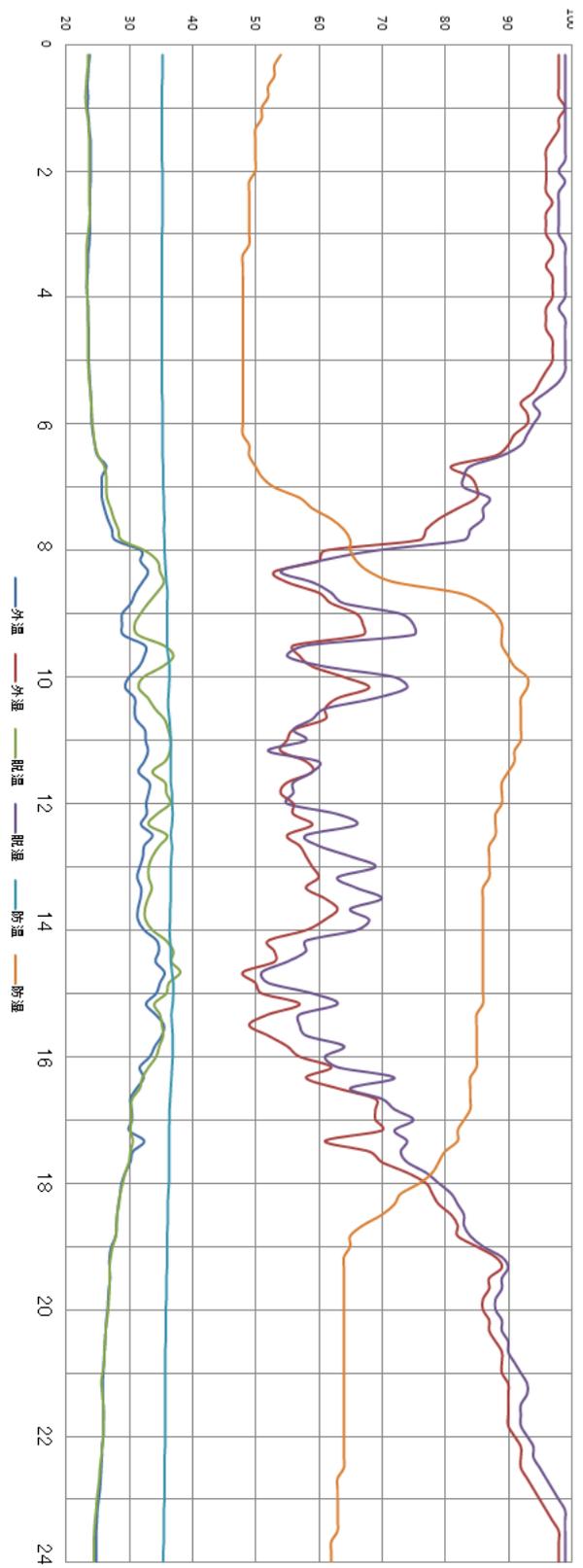


Fig.5 8月15日の防災館

4. 結言

本実験により以下のことが言える

- 防水シートと防水層の空気により躯体の温度が 20℃程冷やされている.
- ファンの有無は躯体温度, 室温には影響がない.
- 防水シートの下に断熱材を入れると, 夏場は蓄熱材として働いてしまう. 脱気筒をもつてしても蓄熱された熱を取り除くことはできていない.
- 実験を行った期間であれば防水シートの下に断熱材を入れても結露は生じない
- ファンを作動させなかった場合はごく僅かな量の水分しか取ることが出来ない. ファン作動時は非作動時の 10 倍程脱水することが可能.

5. 参考

ビクトリアル株式会社ホームページ (<http://www.built-material.co.jp/>)

資料 YDR 結露計算

積水 フェノバボード ホームページ (<http://www.sekisui-phenova.com/f/06.html>)