

膜屋根を有する建築物の室内環境に関する研究 —技術研究所多目的実験棟における実測調査(その1)—

白澤達哉 *須永英幸

要旨

大空間建築物の室内環境に関する研究開発の一環として、膜屋根を有する当技術研究所多目的実験棟を対象に、冬期において室内環境の実測調査を行った。

その結果、膜屋根を有する建築物の冬期における垂直温度分布をはじめとする温熱環境、光環境として室内照度および膜内輝度、そして音環境として残響時間および音圧分布の実態が明らかにされた。

1. まえがき

膜屋根を有する建築物の室内環境を把握するために、当技術研究所を対象に冬期において室内環境の実測を行なったので、ここに報告する。

2. 建物概要

建物概要を表-1に、建物内部の様子を写真-1に示す。また建物平面図および断面図を図-1および2に示す。対象建物は、図-1に示す実験場を投影面積とする張弦梁式膜構造物で、膜材料としてA種の材料を使用したものである。空調設備については、実験対象空間は非空調であり、その周囲に空調を有する個々の部屋がある。

3. 測定期間

測定は、1993年12月23～25日の3日間行なった。また測定期間中の天気はいずれも晴れであったが、12月22日の夜に積雪があり、23日は膜上部に積雪を有する状態で測定を行なった。

表-1 建物概要

所在地	栃木県那須郡
用 途	研究施設
竣工年月日	1993年11月
建築面積	1823 (m ²)
膜投影面積	1000 (m ²)
高さ (m)	18
膜材料仕様	膜材料A種 ・四つ化エチレン樹脂0.3mm ・ガラス織布
屋根構造	張弦梁式膜構造
空調設備	測定対象空間は非空調 周囲室の一部空調可

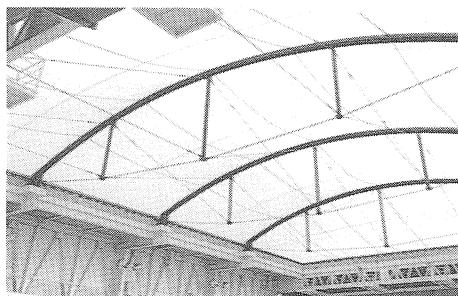


写真-1 建物内部

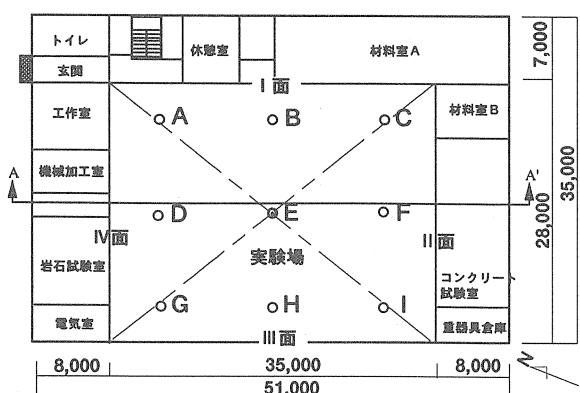


図-1 平面図

*建築本部建築センター

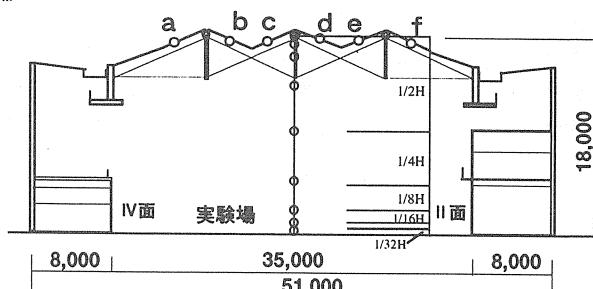


図-2 断面図

4. 測定内容

測定内容は、温熱、光および音環境について行ない、それぞれの測定項目を表-2に示す。また、それぞれの測定位置を図-1および2に示す。

室内温熱環境については実験場の中心であるE点においてPMV計などで測定を行なった。また、室内的温度分布性状を把握するために、E点で垂直温度分布を測定し、A～I点において水平温度分布を測定し、膜表面および壁面の温度分布は、サーモトレーサにより測定した。23日および25日は実験室周囲室の暖房を行ない測定を行なった。また、屋外環境については、本施設の敷地内に設置されている気象観測装置のデータを用いた。これは、気象庁の検定を取得した機器により測定されたものである。そして光環境は室内照度および膜表面輝度、音環境については音圧分布および残響時間について行ない、測定位置を図-1および2に示す。

表-2 測定項目

項目	測定場所	測定機器	測定間隔	床面からの高さ(m)
温 熱 環 境				
垂直温度	E	T型熱電対	10分	0, 0.3, 0.6, 1.2, 2.3, 4.5, 9.0, 13.5, 15.7, 16.8, 17.4, 17.7, 18.0
水平温度	A～E	T型熱電対	10分	0, 0.3, 1.2, 2.0
天部・壁面温度		T型熱電対 サーモプローブ	10分 1時間	
放射温度	A～E	グローブ温度計 環境分析器	1時間 1時間	1.2
温度	B	環境分析器	10分	1.2
気流速度	B	環境分析器	10分	1.2
PMV	B	PMV計	10分	1.2
室内全天日射量	B	全天日射計	10分	床面
外気温度	屋外敷地内		10分	屋外敷地内
外気温度	屋外敷地内		10分	屋外敷地内
屋外全天日射量	屋外敷地内	全天日射計	10分	屋外敷地内
光	室内照度	C, E, G	デジタル照度計	1時間
環	屋外水平照度	屋外	デジタル輝度計	1時間
境	膜表面輝度	屋外敷地内	デジタル輝度計	1時間
音	残響時間	A～I	JISに準拠	期間中2回
環	音圧分布	A, C, G E, I	精密騒音計	

5. 結果および考察

5. 1. 温熱環境

5. 1. 1. 外気温度・室内温度・室内グローブ温度 外気温度、実験室内中央E点における室内温度およびグローブ温度の時刻による変化を図-3に示す。測定期間中の外気温度は23日が最も低く、24日および25日では、日中の気温が高い。外気温度と室内温度とを比較すると、23日は前者より後者が高い値を示す。また24日および25日では10時～16時まで外気温度が室内温度より高い。日中の温度上昇は、24日より25日の方がやや高いが、外気および室内温度の傾向はほぼ等しい。

次に室内温度とグローブ温度とを比較すると、23日の両者の差は1℃以下であるが、これは膜部に積雪があり、日射の透過が少なかったためと考えられる。膜部に積雪のない、24日および25日は12時～13時付近でグローブ温度が室内温度より2℃前後高くなっている、膜からの日射の影響が認められる。

またE点における日射量を図-4に示す。23日の膜屋根上部に積雪がある場合の日最高日射量は0.3kW/m²で、積雪のない24日および25日でのそれは0.5kW/m²であった。

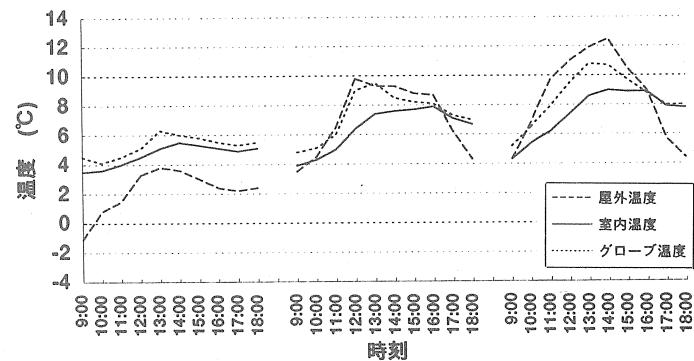


図-3 E点における温熱環境



図-4 E点における日射量

5. 1. 2. PMV

実験室内中央点Eにおける時刻ごとのPMV値を図-5に示す。このときの着衣量および代謝量はそれぞれ2.0cloおよび1.2metとした。また、室内の相対湿度は23日は50~60%前後、24日は40~53%前後、25日は60~75%前後であり、気流速度はいずれも0.5m/sec以下であった。PMV値はいずれもマイナス値を示し、-1前後から-2の範囲で、やや涼しいもしくは涼しいの範囲にある。日中に放射熱があっても室温が10°C以下であるため、体感としては快適な範囲とは認められない。

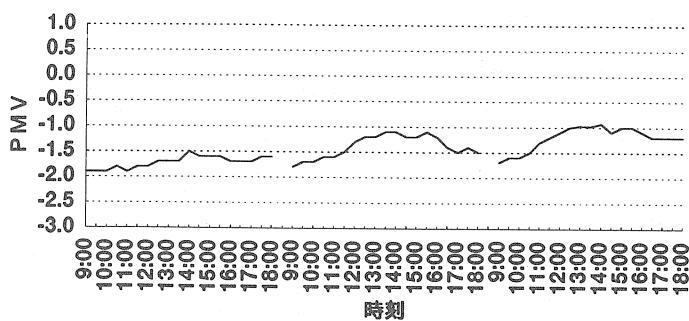


図-5 E点におけるPMV

5. 1. 3. 垂直温度分布

実験室内中央E点における23~25日の11~15時の垂直温度分布をそれぞれ図-6~8に示す。図-6に示す23日は、各時刻ごとで床面から膜下までの温度差はほとんどない。また11~15時までの各点での温度差は2度程度で、膜屋根上部に積雪があったため、日射の影響が少ないと分かること。次に図-7および8に膜屋根上部に示すように積雪のない24および25日は、日中の日射により膜表面温度が上昇し、最高温度は16°Cであり、11時~13時において高さ15m以上の室内温度が床面付近と比較して3~5°C高い値を示す。また、各高さの時間による温度差を比較すると、日射の影響を強く受ける高さ15m以上で10°C近くの温度差がそれ以下では5°C前後の温度差がある。

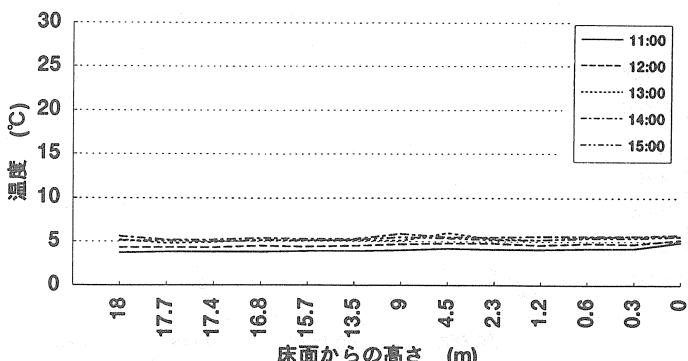


図-6 垂直温度分布(23日)

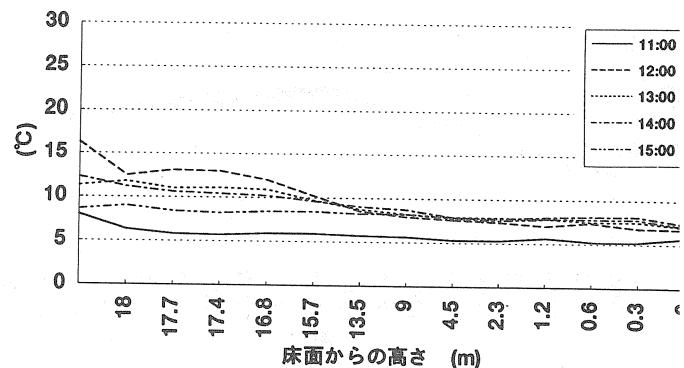


図-7 垂直温度分布(24日)

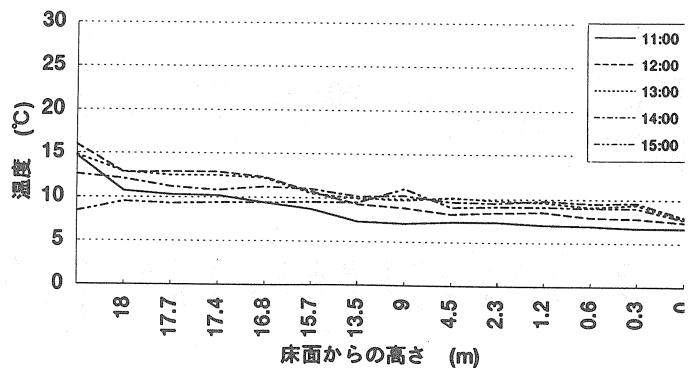


図-8 垂直温度分布(25日)

5. 1. 4. 水平温度分布

実験室内A~I点における時刻ごとの水平温度分布の一例として25日の床から高さ1.2m、床からの高さ0.3mおよび床表面での温度分布をそれぞれ図-9~11に示す。図-8および9に示すように、床から高さ1.2mおよび0.3mの測定箇所9箇所での温度差はほとんどなく、水平温度分布はほぼ一定である。また図-11に示すように床表面での水平温度分布は、日射の影響で床面での温度差は2°C前後のばらつきがあった。

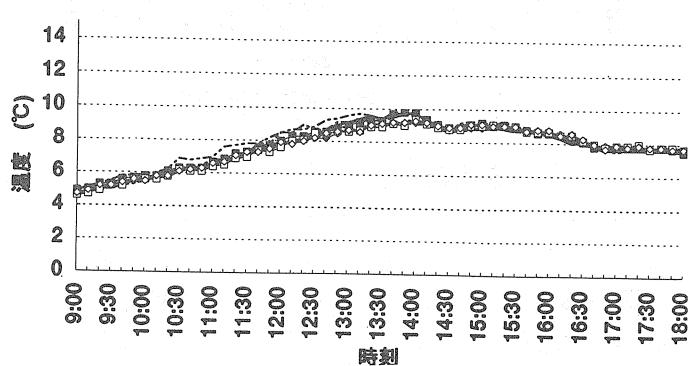


図-9 水平温度分布(床上1.2m)

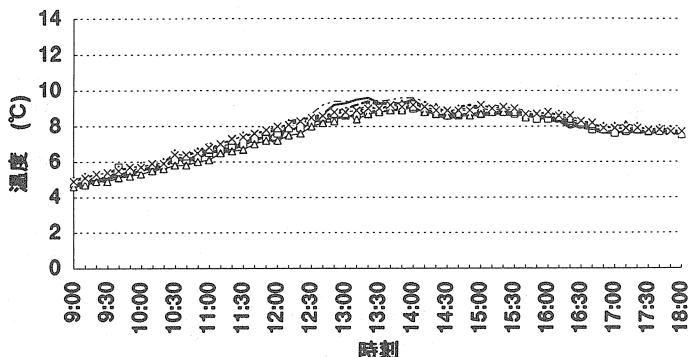


図-10 水平温度分布（床上0.3m）

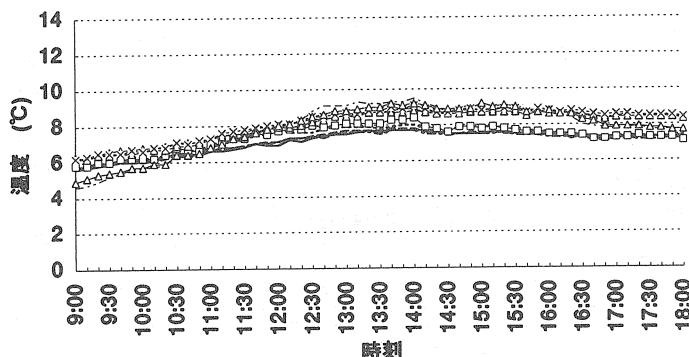


図-11 水平温度分布（床上1.2m）

5. 1. 5. 膜表面温度

室内側膜表面温度の時刻ごとの変化を図-12に示す。23日の室内側膜表面温度は積雪のため、常に-5°C前後を示す。また日射の影響を受けた24および25日では日中に温度が上昇し、15°C近くになる。しかし、熱容量が小さいため外気温度の変化の追従する傾向にある。

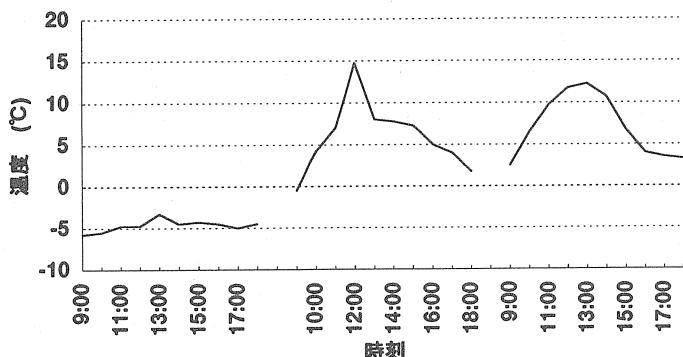


図-12 室内側膜表面温度

5. 1. 6. 壁表面温度

実験室内壁表面における時刻ごとの温度変化の一例としてⅡ壁面についてのサーモグラフィによる温度分布を図-13に示す。ここで空調室に隣室した壁面が他より2~4°C程度高くなっている。また傾向として12時まで温度上昇し、その後の温度変化は小さい。

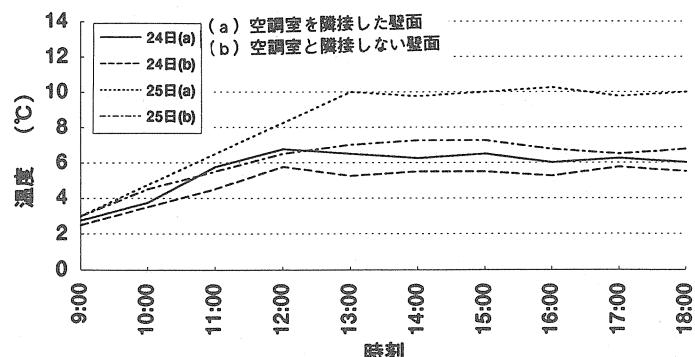


図-13 壁表面温度

5. 2. 光環境

5. 2. 1. 照度

C、EおよびG点における時刻ごとの水平照度を図-14に示す。図に示すように中央点であるE点がCおよびG点より10時~14時で高くなる。CおよびG点は時刻ごとの水平照度の差はあまり見られない。

また、屋外と室内の水平照度の関係を膜屋根上部に積雪を有する23日と積雪がない24および25日についてそれぞれ図-15および16に示す。23日は、屋根上面に積雪があり、光の透過率が低い状態であったが、屋外水平照度が45000lx以上での室内水平照度は、1000lx以上である。また積雪のない24日および25日は、膜形状がフラットでないため、室内照度分布にはばらつきがあるが、室内水平照度は一部を除き1000lx以上を確保している。

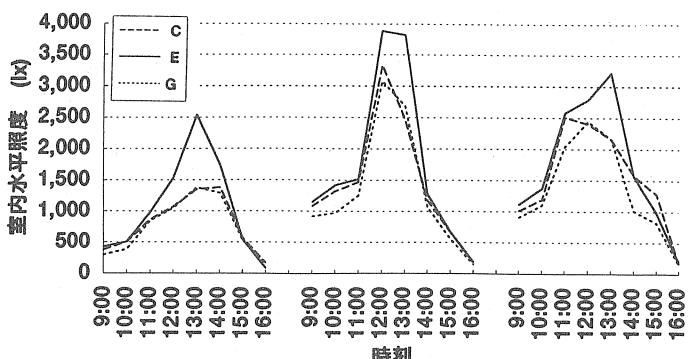


図-14 時刻ごとの室内的水平照度

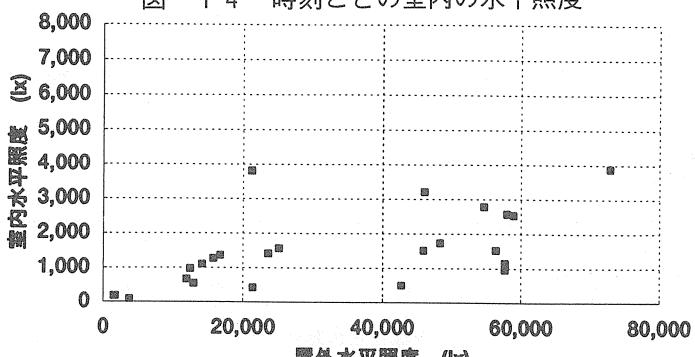


図-15 室外と室内的水平照度（23日）

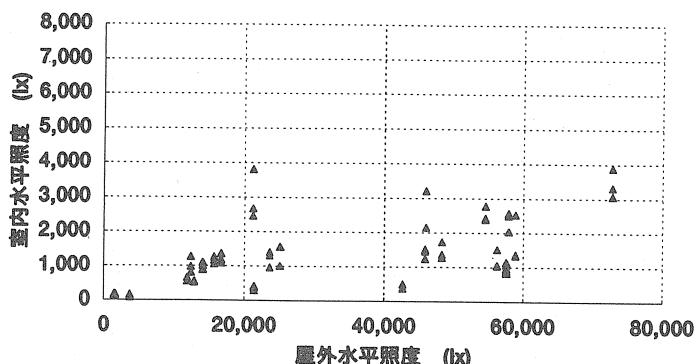


図-16 室外と室内の水平照度（24日、25日）

5. 2. 2. 輝度

膜の内表面における輝度のd点における時刻ごとの変化を図-17に示す。23日が他より輝度が低いのは屋根面上部の積雪によるものである。輝度は最高で $2700\text{cd}/\text{m}^2$ 程度となる。また、25日におけるa～f点での膜の内表面における輝度を図-18に示す。膜屋根がフラットでないため点によるばらつきは大きく、その差は12時で $1,500\text{cd}/\text{m}^2$ 程度あった。

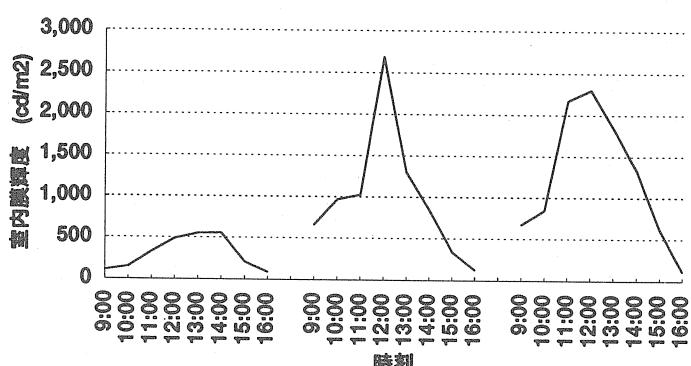


図-17 膜の内表面輝度1 (d点)

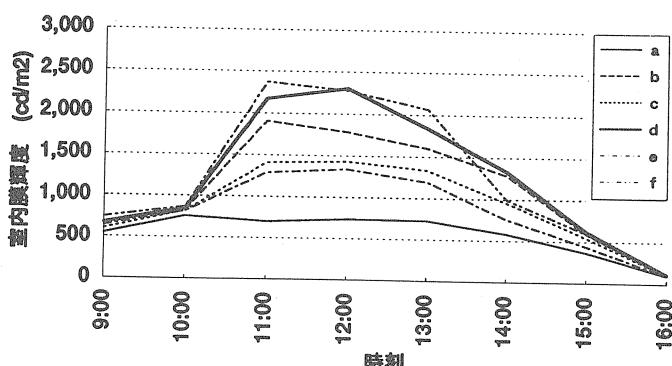


図-18 膜の内表面輝度2

5. 3. 音環境

5. 3. 1. 残響時間

実験室内残響時間を図-19に示す。この残響時間は5点の平均値である。膜屋根上部に積雪のある23日と積雪のない24日とを比較すると、前者は後者より低音域の残響時間が長く、中音域のそれは短い。また、両日とも 1kHz 帯域をピークとする山型の周波数特性を示す。

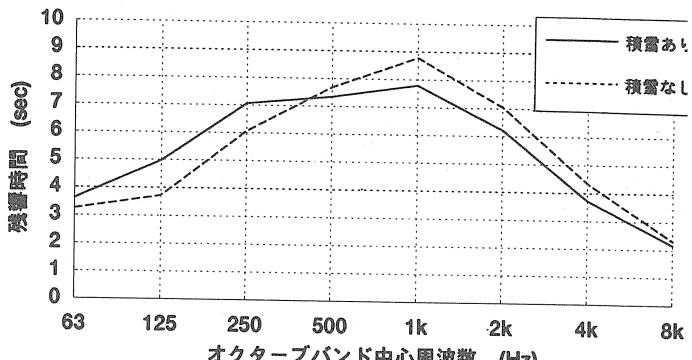


図-19 残響時間

5. 3. 2. 音圧分布

24日における実験室内A～I点の音圧分布の一例として 1kHz 帯域におけるそれを図-20に示す。測定点による差はほとんど見られない。他の周波数帯域においては、 63Hz 帯域で多少ばらつきが見られることを除けば、同様な傾向にある。

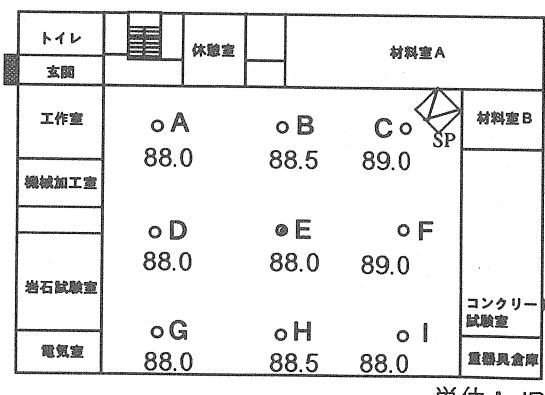


図-20 音圧分布

6. まとめ

膜屋根を有する建築物実測調査を行うことにより、膜屋根を有する建築物の室内環境の実態を把握した。そして、空調を有しない空間の夏期および冬期の垂直温度分布をはじめとする室内温熱環境は把握することにより、

空調が必要な場合への基礎資料としたい。また温熱環境を数値解析シミュレーションにより予測するために数値解モデルの検討を今後進めて行く考えである。

また、室内照度と膜内輝度を把握することにより、膜屋根を有する構造物内での用途適用性を確認した。

そして残響時間および音圧分布を把握することにより今後の膜構造物への音響設計の基礎資料を収集した。

今後さらに他物件に対し同様な測定を行ない、実測データの蓄積を行ない、膜屋根を有する建築物への設計手法の確立を行っていきたい。

最後に、本研究にあたり、日本大学生産工学部板本研究室の方々に多大なるご協力をいただきました。ここに深謝いたします。