

寒冷地における地下エアトンネルによる  
住熱環境改善に関する研究  
(その1. 小規模試験家屋における夏季の涼房性能評価)

三木 康臣, 三治 広明

(平成9年9月25日受理)

**Study on Climate Control of Dwellings Using\*  
Underground Air Tunnel in Cold Region  
(Part 1, Cooling Performance of the Underground  
Air Tunnel Connected to a Small-scaled Test House)**

Yasutomi MIKI\*\* and Hiroaki SANJI\*\*\*

**Abstract**

A passive summer cooling and winter preheating technique which utilizes underground soil temperature, which stays respectively about 8°C in summer and 10°C in winter, at a depth of 5 meters in Hokkaido. The final goal of this study is to supply basic data for the design of underground air tunnels, in cold region.

This paper describes the cooling performance of an underground air tunnel connected to a test house in Kitami. The test house contained two rooms, one of which was equipped with an air tunnel and the other of which was not. Experiments were carried out to measure air temperatures, air humidities in both the air tunnel and the test rooms and the surrounding soil temperatures. Performance was evaluated by comparing indoor temperatures in the 2 rooms, and comparing the values of cooling energy and Coefficient of Performance (COP) values between this study and previous studies.

The results of these experiments show that underground air tunnels for passive summer cooling work more effectively in cold region.

**1. はじめに**

近年では、建物の高气密化や高断熱化が進む一方で、建物内のOA化が益々加速される状況もあって、北海道のように夏季比較的冷涼な地域でも冷房需要は増加している。1994年の北見市を例にとると、真夏日が27日、29°C台が5日、28°C台が9日であった。同じ年の札幌市では、真夏日

\* 平成9年度第13回寒地技術シンポジウムで発表 (平成9年11月14日)

\*\* 北見工業大学機械システム工学科

\*\*\* 北見工業大学大学院工学研究科修士課程機械工学専攻

が18日、29°C台が14日、28°C台が7日であった。ちなみに、北見市においては、この9年間で日最高気温が27°Cを超えた日数は平均25日であった。

夏季において、できるだけ機械力を使わずに涼しい室内環境を得るための工夫を、パッシブクーリングと呼ぶ。地下エアトンネルは、この手法の一つで、地温が夏季には外気温より低いことを利用して、空気を地中に埋設した管やチャンネルの中に送り込み、室内に冷気を得ようとするものである。冬季には、地温が外気温より高いことを利用して、空気を地下エアトンネルを通して予熱することは可能であろうから、さらに住宅建物の壁の間や小屋裏を通して昇温し、室内に取り込む換気システムが考えられる。夏季の涼房装置としての利用だけであれば、従来技術のいわゆるヒートポンプエアコン（室外ユニットの吸込み温度の低下により、効率低下や霜取り運転が増加するため、現時点での寒冷地における電気暖房の普及は困難とされている<sup>1)</sup>）とコスト的には取って替わることは困難かもしれないが、夏冬の使用により、コスト的にも比較し得る程度となり、しかも省エネで環境保全に役買うシステムが構築できると考えられる。

地下エアトンネルについての国内における従来の研究は、1982年の中島ら<sup>2)</sup>や木村ら<sup>3)</sup>以来1994年の池沢ら<sup>4)</sup>まで著者の知り得る限り、7件なされており、その詳細は吉野ら<sup>5)</sup>に譲る。また、国外においては、施工例は別にして、本格的理論的・実験的研究となると、1980年のAbrams<sup>6)</sup>の理論的・実験的研究以来、1987年のS. Heslam et al.<sup>7)</sup>と同年のKrarti et al.<sup>8)</sup>の理論的研究まで8件ある。しかしながら、国内外で普及するまでには至っていない。しかも、長谷川ら<sup>9)</sup>による仙台でのものと月館ら<sup>10)</sup>による札幌でのもの以外は全て暖地で行われたことと、池沢ら<sup>4)</sup>によるもの以外は地下エアトンネルの設置が地下2 m以内と浅いことから、地中冷熱を十分利用したとは言えない。特に暖地においては補助冷房の位置に留まっている。また、理論解析が建物を連成させたものでないことから、実際的でない不十分さもあった。冬季における積極的利用例は石川ら<sup>11)</sup>による報告があるだけである。さらに、経済面、レジオネラ菌などの微生物汚染の有無など衛生上の対策も普及に向けて解決すべき問題である。

本研究の目的は、寒冷地故に豊富な地中冷熱を利用して、夏季における戸建住宅の涼房の為に、地下エアトンネルの実際導入可能なシステムを実験的・理論的アプローチにより開発することである。同時に、冬季における利用の有効性を実験的・理論的に検討することにある。

上記目的を達成するために、本報告では、北見工業大学構内に小規模な試験家屋の涼房のための地下エアトンネルを設置し、その性能を実験的に調べたので、その結果を報告する。

## 2. 実験装置と方法

### 2.1 実験装置

北見工業大学構内にプレハブの試験家屋を南向きに設置した。試験家屋および地下エアトンネルの平面図を図1に、地下エアトンネル空気出口部を写真1に示す。試験家屋は、AB 2室に間仕切りし、各々の室の床面積は約4.73m<sup>2</sup>、容積11.12m<sup>3</sup>である。床下、側壁内および間仕切り壁内に厚さ100mmのグラスウール断熱材と厚さ20mmのスタイロフォーム断熱材を施工してある。日射遮蔽のため、南北計2つある窓にはブラインドを設置し、南向きの窓の外側は葦簾で覆った。地下エアトンネルは、内径200mmの硬質塩化ビニール管で、家屋近辺の深さ4.5mの位置に埋設してある。その総延長は27mで、出口に設置したフィルタ付きの定格出力72Wの小型ファンにより空気を強制送風して一方の室内(B室)に吹き出し、上部換気孔から室外へ排出される。

地下エアトンネルの空気取り入れ口は、試験家屋西側とB室内の立ち上げ管である。外気取り

入れ口には防虫・防塵のためのネットを設置した。外気取り入れ口および地下エアトンネル出口直前の両立ち上がり管のGL-0.9mおよび両立ち上がり管から地下エアトンネル出口に至る部分900mmは厚さ50mmのスタイロフォーム断熱材とウレタンフォーム断熱材を施した。後者の立ち上がり管をGL-5.5mまで延長してドレインとし、地下エアトンネルを緩やかな勾配を付けて設置することにより、結露水がドレインとその周辺の土壤に回収されるようにした。外気取り入れ口は葦簾で蔽った。送風ファンの風量の調整にはスライダックを用い、ON/OFFにはプログラムタイマーを用いた。ファンの消費電力は積算電力計を用いて実測した。なお、地下エアトンネル設置場所の土質は粗粒火山灰質土壤である。<sup>11)</sup>

自然状態土壤温度および水平全日射量は本施設に隣接する寒地気象観測室による寒地気象データ日報・月報<sup>13)</sup>による値を使用した。

地下エアトンネルの涼房性能を明らかにするために行った実験のうち、表1には10件の実験条件を示す。表中のOpen Loopとは外気を地下エアトンネル内に導入する動作モードを、Closed Loopとは室内の空気を地下エアトンネル内に導入し循環させる動作モードを意味する。両モードの切り換えは手動ダンパーにより行った。実験7のみ、間仕切りの扉を開放して実験を行った。強制送風の場合のファンの作動時間は9時から18時とした。

## 2.2 実験方法

外気温度、室温、地下エアトンネル内空気温度および土壤温度(GL-1mからGL-5mまで0.5m間隔に測定した自然状態土壤温度も含む)は $\phi 0.32\text{mm}$ のT型あるいはK型熱電対で測定し、ハイブリッドレコーダーとメモリーデータロガーにより30分毎に、同時にICメモリーカードに10分毎に記録し、パソコンまたはワークステーションにて統計処理した。

地下エアトンネルの出入口および両室温度および湿度はサーミスタ、T型熱電対と高分子湿度センサにより各々測定し、データロガーを通して、パソコンのハードディスクに記録した。強制送風を行った場合、硬質塩化ビニル管の中心での空気速度を熱線風速計で測定することにより平均速度を計算し、空気流量を得た。ちなみに、レイノルズ数が5930~26605であることから、空気流れは乱流であったと考えられる。

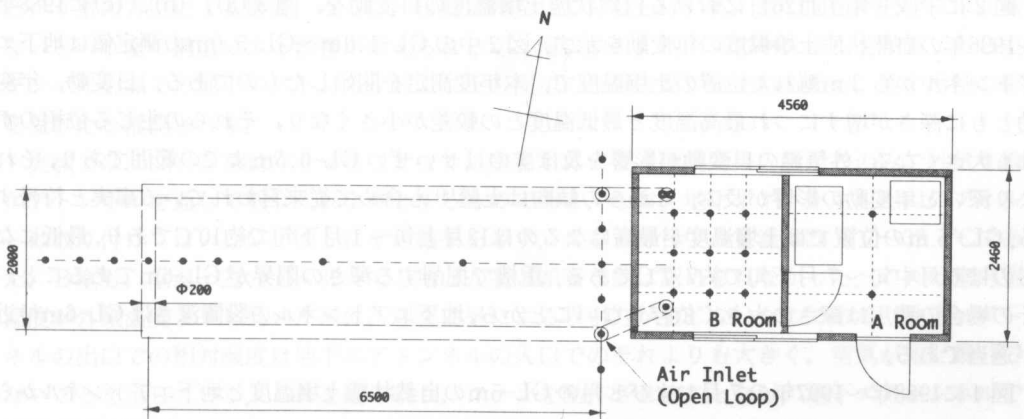


図1 試験家屋と地下エアトンネルの平面図

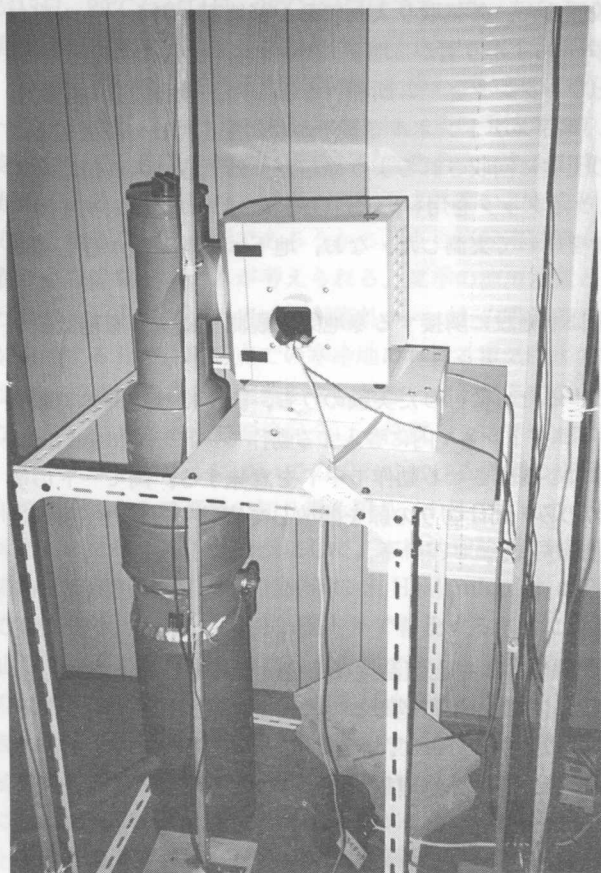


写真1 地下エアトンネル空気出口部分

表1 実験条件

Run	Date	Exp. condition
1	Aug. 30	Natural ventilation Open loop
2	Sep. 6	Forced ventilation 78 m <sup>3</sup> /h, Open loop
3	Aug. 29	Forced ventilation 76 m <sup>3</sup> /h, Closed loop
4	Aug. 27	Forced ventilation 136 m <sup>3</sup> /h, Open loop
5	Aug. 26	Forced ventilation 140 m <sup>3</sup> /h, Closed loop
6	Sep. 9	Forced ventilation 203 m <sup>3</sup> /h, Open loop
7	Sep. 5	Forced ventilation 136 m <sup>3</sup> /h, Closed loop A+B
8	July. 26	Forced ventilation 61 m <sup>3</sup> /h, Open loop
9	Sep. 1	Forced ventilation 136 m <sup>3</sup> /h, Open loop
10	Aug. 31	Forced ventilation 145 m <sup>3</sup> /h, Closed loop

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 自然状態の土壤温度

図2に平成9年7月26日における自然状態土壤温度の日変動を、図3(a), (b), (c)に1988年～1996年の自然状態土壤温度の年変動を示す。図2中のGL-1.0m～GL-5.0mの測定値は地下エアトンネルから3m離れた位置の土壤温度で、本年度測定を開始したものである。日変動、年変動ともに深さが増すにつれ最高温度と最低温度との較差が小さくなり、それらの生じる位相のずれも大きくなる。外気温の日変動が影響を及ぼすのはせいぜいGL-0.5mまでの範囲であり、それより深いと年変動の影響が及ぶ。これらの傾向は土屋<sup>14)</sup>も含めて従来言われている事実と符号する。GL-5mの位置では土壤温度が最高になるのは12月上旬～1月下旬で約10°Cであり、最低になるのは6月中旬～7月下旬で約7.7°Cである。重機で掘削する深さの限界がGL-6mであること、その場合の費用は深さに大きく依存しないことから、地下エアトンネルの設置深さはGL-6m付近が適当である。

図4に1988年～1997年の7月および8月のGL-5mの自然状態土壤温度と地下エアトンネルから3m離れた位置の土壤温度を示す。夏季の自然状態土壤温度は年により若干の差はあるものの、7.2°C～8.5°Cの範囲で推移し、7月初旬から8月下旬にかけて微増傾向にある。3m離れた位置

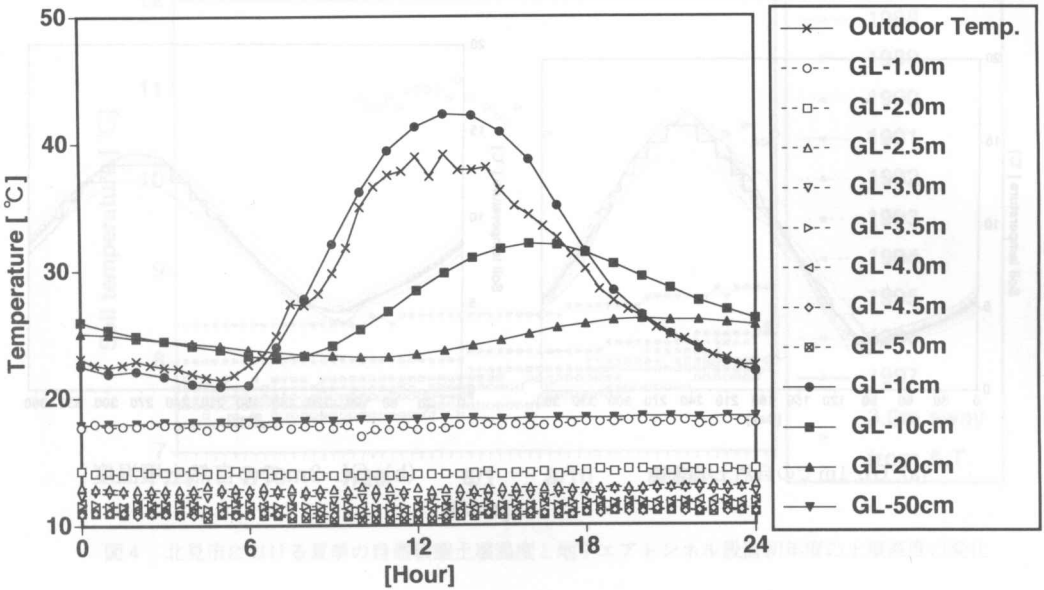


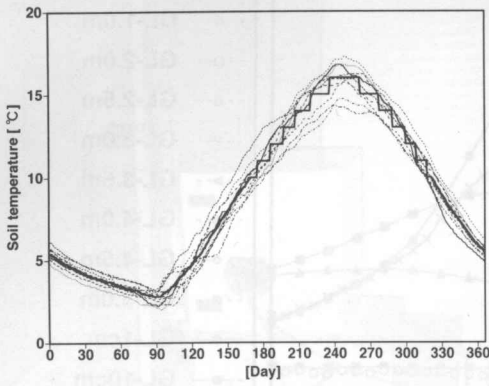
図2 北見市における自然状態土壌温度の日変動例 (平成9年7月26日)

の土壌温度は $10.7^{\circ}\text{C}\sim 11^{\circ}\text{C}$ と平年値よりも約 $3^{\circ}\text{C}$ 高いが、回復傾向を示している。これは、地下エアートンネルの設置を平成9年6月下旬から7月上旬にかけて行ったために、その間、設置場所の土壌は地表面上に放置され、掘削穴表面の土壌が外気に晒されたことが原因であろうと推測される。

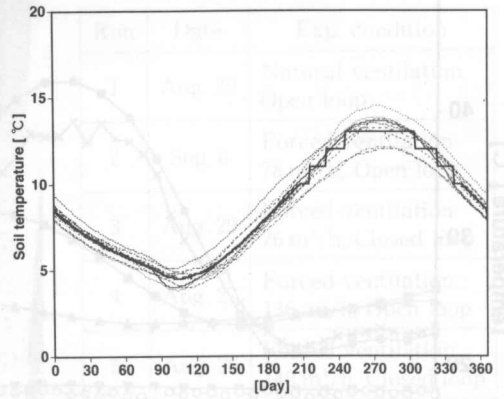
### 3.2 自然涼房による実験結果

予備実験として、地下エアートンネルを動作しない場合のAB両室の自然室温を測定した結果を図5に示す。AB両室における測定位置は各々2箇所、両室の南側と北側の類似の位置で行った。9時から18時まではA室が上回り、南側で最大 $3.9^{\circ}\text{C}$ の温度差があったが、18時から翌朝9時にはB室が上回り、最大 $1.2^{\circ}\text{C}$ の温度差であった。この差は、まずA室が東側、B室が西側であるという室の方位による影響、さらに、日射遮蔽をしているとはいえ、窓の面積が完全には同量でないという室の構造による影響が考えられるが、何よりも、地下エアートンネルを設置したB室がダンパーを隔てて地下エアートンネルおよびその周辺の土壌と繋がっているため、地中冷熱の影響を受けたと推測される。

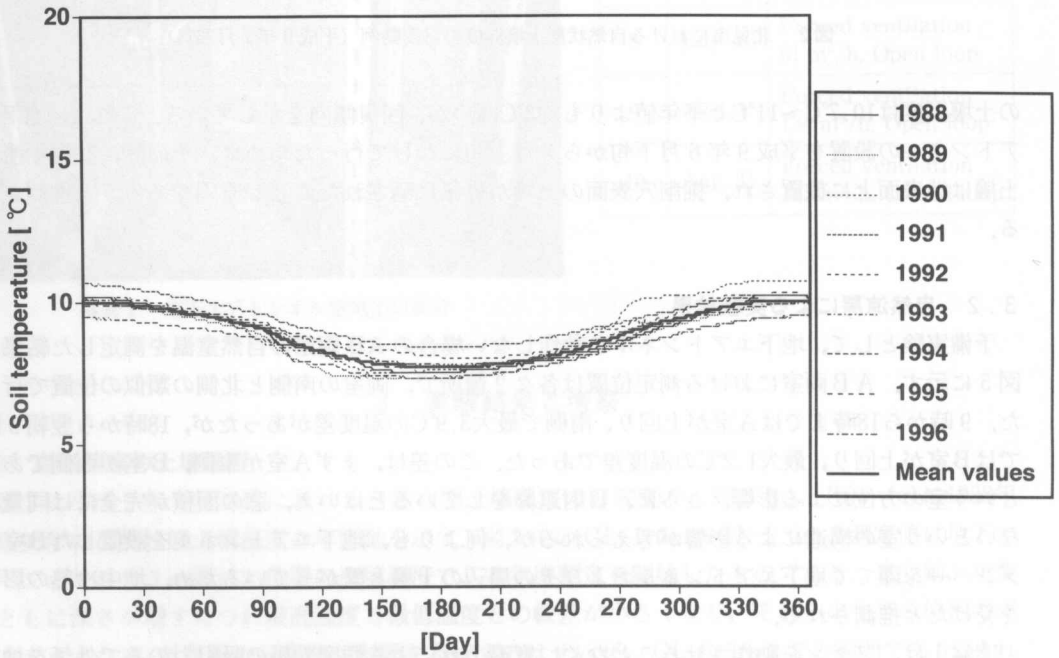
実験1は、ファンを動作させることなく、室温上昇による煙突効果の吸引力のみで外気を地下エアートンネルを通して取り入れようとするものである。なお、地下エアートンネル出口のフィルターは取り付けしていない。図6にその結果を示す。A室では日中の室温は $24.8^{\circ}\text{C}\sim 32.4^{\circ}\text{C}$ であった。B室も、室温が $22.4^{\circ}\text{C}\sim 32.8^{\circ}\text{C}$ と殆どA室と顕著な差は認められなかった。これは室内空気温度が外気温度よりも低いために、煙突効果による吸引力が生じないためである。地下エアートンネルの出口での相対湿度は地下エアートンネルの入口でのそれよりも大きく、空気が殆ど動いていないことを示している。これを観る限り、ファンを動作させることなしの地下エアートンネルでの地中冷熱利用は困難である。



(a) GL-1mでの自然土壤温度



(b) GL-2mでの自然土壤温度



(c) GL-5mでの自然土壤温度

図3 北見市における自然状態土壤温度の周年変化 (1988年~1997年)

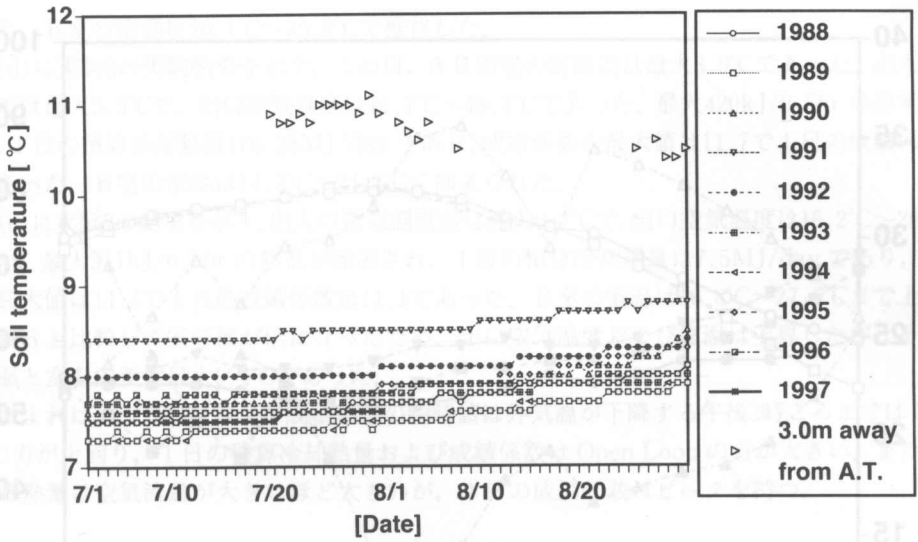


図4 北見市における夏季の自然状態土壌温度と地下エアトンネル設置初年度の土壌温度の変化

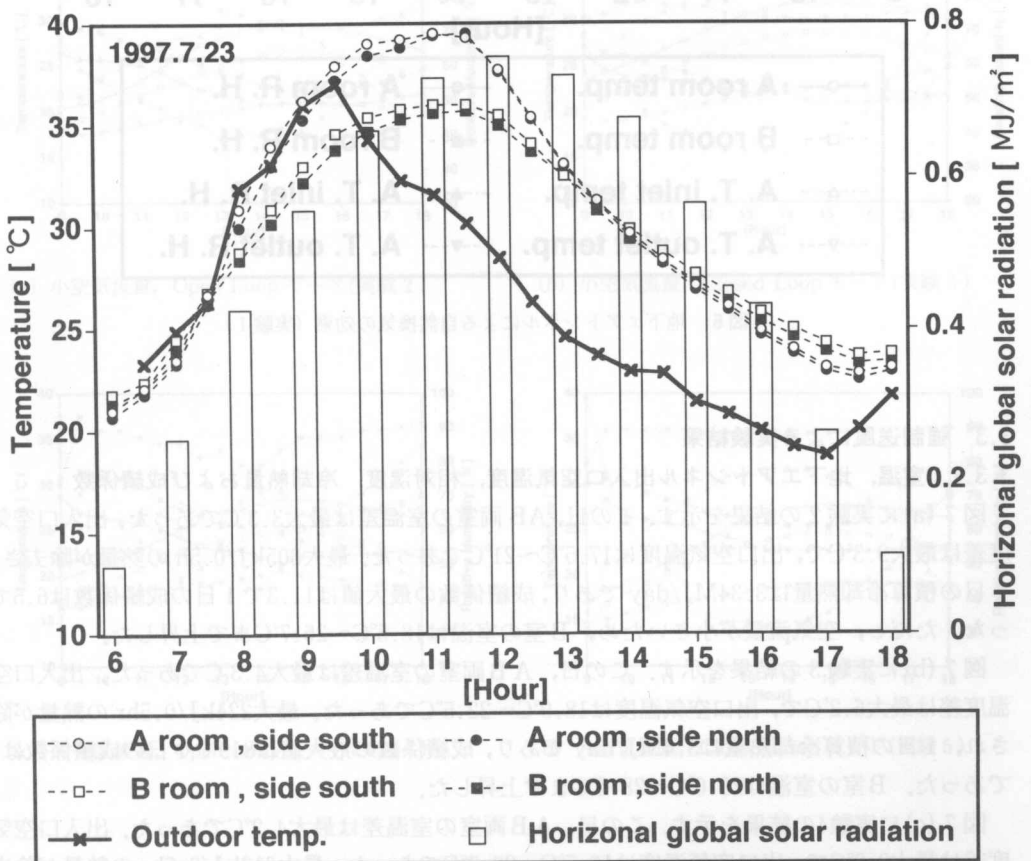


図5 地下エアトンネル動作なしの場合のA B両室の比較

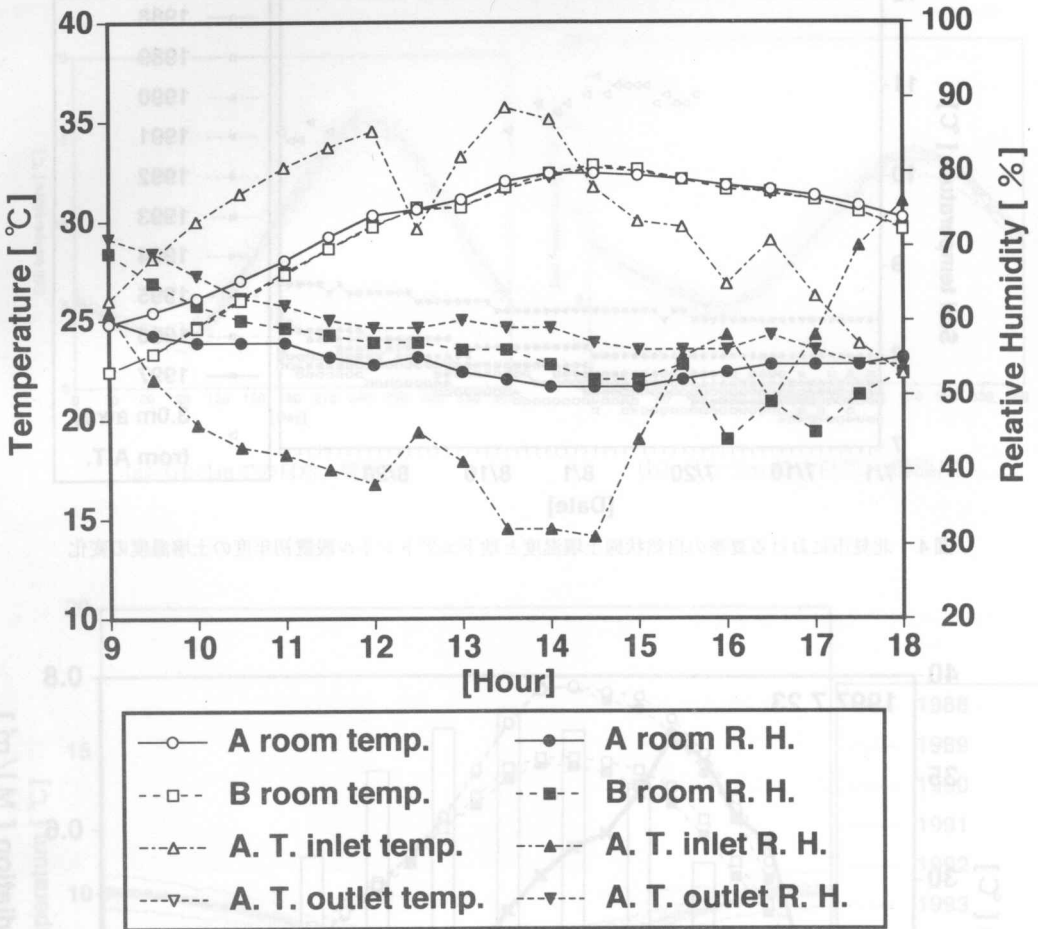


図6 地下エアトンネルによる自然換気の効果 (実験1)

### 3.3 強制送風による実験結果

#### 3.3.1 室温, 地下エアトンネル出入口空気温度, 相対湿度, 冷却熱量および成績係数

図7 (a)に実験2の結果を示す。この日, AB両室の室温差は最大 $3.3^{\circ}\text{C}$ であった。出入口空気温度差は最大 $9.3^{\circ}\text{C}$ で, 出口空気温度は $17.5^{\circ}\text{C}\sim 21^{\circ}\text{C}$ であった。最大 $305\text{kJ}/0.5\text{h}$ の熱量が除去され, 1日の積算冷却熱量は $3.34\text{MJ}/\text{day}$ であり, 成績係数の最大値は11.3で1日の成績係数は6.5であった。ただし, 空気流量が小さいため, B室の室温は $18.5^{\circ}\text{C}\sim 26.7^{\circ}\text{C}$ まで上昇した。

図7 (b)に実験3の結果を示す。この日, AB両室の室温差は最大 $4.3^{\circ}\text{C}$ であった。出入口空気温度差は最大 $6.2^{\circ}\text{C}$ で, 出口空気温度は $18.9^{\circ}\text{C}\sim 22.5^{\circ}\text{C}$ であった。最大 $224\text{kJ}/0.5\text{hr}$ の熱量が除去され, 1日の積算冷却熱量は $3.4\text{MJ}/\text{day}$ であり, 成績係数の最大値は8.9で1日の成績係数は7.1であった。B室の室温は $20.0^{\circ}\text{C}\sim 28.6^{\circ}\text{C}$ まで上昇した。

図7 (c)に実験4の結果を示す。この日, AB両室の室温差は最大 $4.2^{\circ}\text{C}$ であった。出入口空気温度差は最大 $9.2^{\circ}\text{C}$ で, 出口空気温度は $16.5^{\circ}\text{C}\sim 20.3^{\circ}\text{C}$ であった。最大 $613\text{kJ}/0.5\text{hr}$ の熱量が除去され, 1日の積算冷却熱量は $7.05\text{MJ}/\text{day}$ であり, 成績係数の最大値は17.6で1日の成績係数は10.6

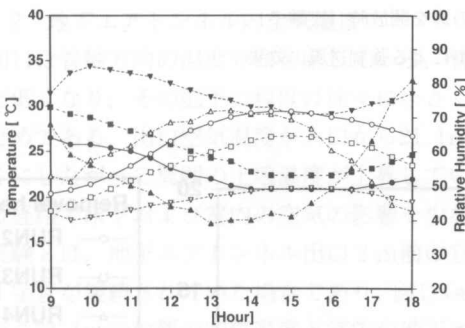


であった。B室の室温は $16.1^{\circ}\text{C}$ ~ $25.2^{\circ}\text{C}$ で推移した。

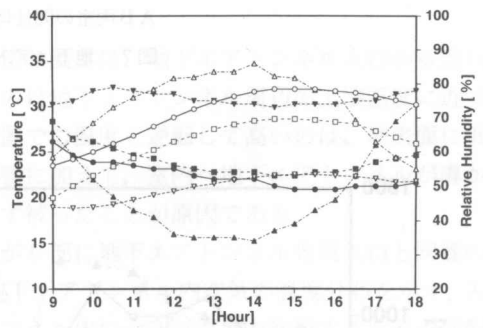
図7(d)に実験5の実験結果を示す。この日、A B両室の室温差は最大 $3.9^{\circ}\text{C}$ であった。出入口空気温度差は最大 $5.5^{\circ}\text{C}$ で、出口空気温度は $14.7^{\circ}\text{C}$ ~ $19.3^{\circ}\text{C}$ であった。最大 $420\text{kJ}/0.5\text{hr}$ の熱量が除去され、1日の積算冷却熱量は $6.25\text{MJ}/\text{day}$ であり、成績係数の最大値は11.7で1日の成績係数は9.18であった。B室の室温は $14.5^{\circ}\text{C}$ ~ $24.7^{\circ}\text{C}$ に抑えられた。

図7(e)に実験7の結果を示す。出入口空気温度差は最大 $9.7^{\circ}\text{C}$ で、出口空気温度は $16.2^{\circ}\text{C}$ ~ $20.8^{\circ}\text{C}$ であった。最大 $511\text{kJ}/0.5\text{hr}$ の熱量が除去され、1日の積算冷却熱量は $7.5\text{MJ}/\text{day}$ であり、成績係数の最大値は14.4で1日の成績係数は11.1であった。B室の室温は $16.8^{\circ}\text{C}$ ~ $27.6^{\circ}\text{C}$ まで上昇した。実験5と比較して室容積が倍になったため、出口空気温度および室温は上昇したが、それでも外気温と室温の差は最大 $9.4^{\circ}\text{C}$ であった。

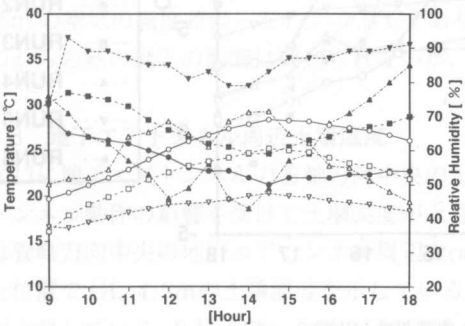
図8によれば、冷却熱量および成績係数の瞬時値は外気温が下降する午後3時ころまではOpen Loopの方が上回り、1日の積算冷却熱量および成績係数はOpen Loopの方が大きい。また、1日の冷却熱量は空気流量が大きいほど大きいが、1日の成績係数はピークを持つ。



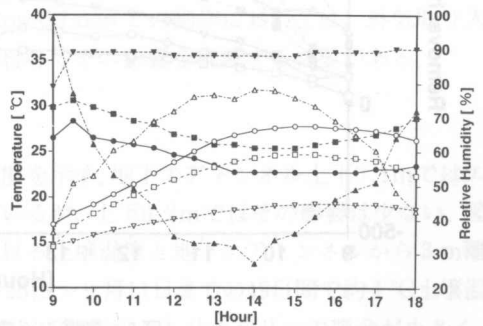
(a) 小空気流量, Open Loop モード (実験 2)



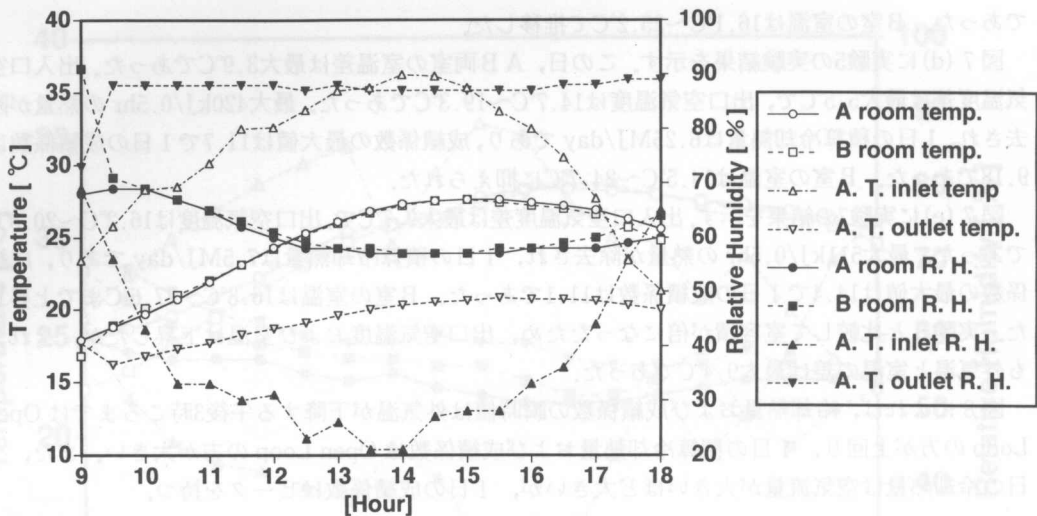
(b) 小空気流量, Closed Loop モード (実験 3)



(c) 大空気流量, Open Loop モード (実験 4)



(d) 大空気流量, Closed Loop モード (実験 5)



(e) 大空気流量, Closed Loop モード  
 A B 両室の間仕切り壁の扉を開放時 (実験 7)

図 7 地下エアトンネルによる強制送風の効果

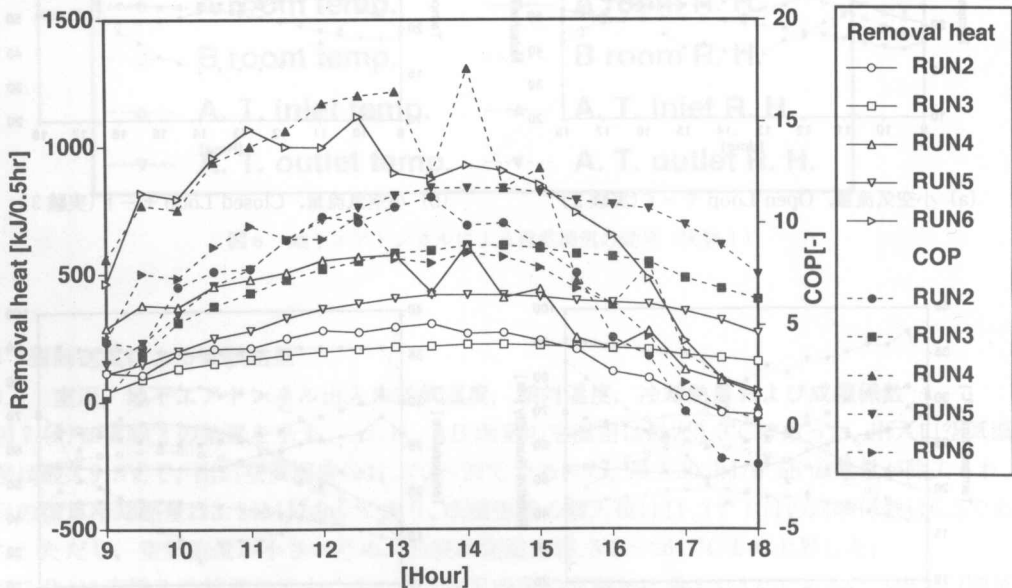


図 8 瞬時の冷却熱量と成績係数 (実験 2 ~ 6)

図 9 によれば, 地下エアトンネル出入口空気温度差の瞬時値は, 外気温が下降する午後 3 時ころまでは Open Loop の方が上回る。また, 空気流量が大きいかほど小さくなる傾向がある。図 10 によれば, 外気温と地下エアトンネル出入口空気温度差 (最大値のみ示した) は Open Loop, Closed Loop で別々の直線相関性を示し, それらの相関係数は各々 0.817, 0.890 と高い値を示した。

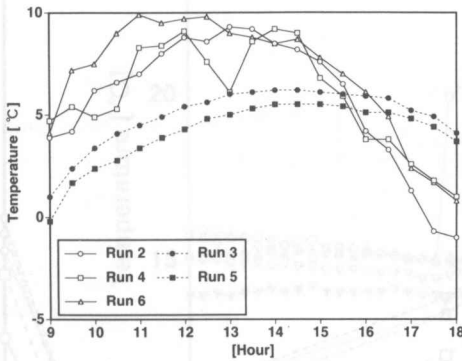


図9 地下エアトンネル出入口空気温度差 (実験2～6)

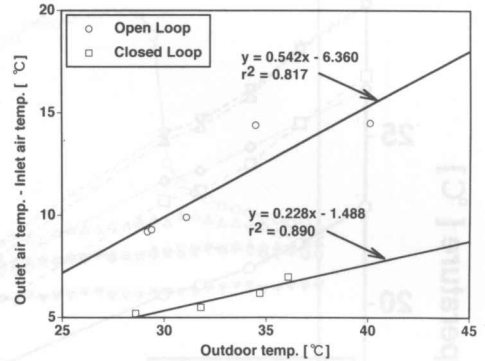


図10 外気温と地下エアトンネル出入口空気温度差の最大値の相関関係 (実験2～10)

### 3.3.2 地下エアトンネル内空気温度

図11は管軸方向の温度分布を示している。管内の空気温度は、地下エアトンネル入口から進むほど低くなり、その低下の程度は徐々に小さくなるのは地下エアトンネル周辺の土壤温度に近づくためである。出口空気温度が入口から21.1mの位置での温度と逆転して高いのは、地表面に近づくにしたがって周囲の土壤温度が上昇している影響に加えて、室内へ地下エアトンネルが導かれる経路で床下および室内の空気の影響を少なからず被ったことが原因である。

実験8は、地下エアトンネル出口2m前の立ち上がり部に地下エアトンネル外気入口と同様の逆J字管が接続されていた場合であり、図12(a)に地下エアトンネル内空气の温度分布を示す。入口から21.1mの位置の空気温度と室内の地下エアトンネル出口の空気温度を比較するとその逆転温度差 $5.6^{\circ}\text{C}\sim 7^{\circ}\text{C}$ と顕著であり、逆J字管を除去した後の実験2の結果(図12(b))と比較すればより顕著である。このことから、実際の施工時には、地表面に近い部分の地下エアトンネルを十分断熱することが肝要である。実験3の場合、Open Loopでの外気取り入れ口の空気温度とGL-0.25mの空气の温度差は $-2.4^{\circ}\text{C}\sim 7.3^{\circ}\text{C}$ であり、Closed Loopでの動作においては、外気取り入れ口からの熱の進入の影響は避けられないが、断熱材等でその影響を軽減する必要がある。

### 3.3.3 地下エアトンネル周辺土壤温度

図13に地下エアトンネルの管軸方向中央の土壤温度を示す。地下エアトンネル上下0.1mではエアトンネル動作の影響を受けて土壤温度が上昇しているが、上下0.2mではその影響は少ない。図14は管軸方向中央の地下エアトンネル周辺1cmにおける土壤温度と地下エアトンネルから3m離れた位置でGL-4.5mの土壤温度を示している。7月25日～9月11日までの49日間で約 $1^{\circ}\text{C}$ 土壤温度が上昇している。9月4日～9月9日のように連続して動作するとリカバリーの度合いが小さく、土壤温度が上昇してしまう。しかしながら、9月12日～9月15日までの4日間動作しないと、殆どリカバリーする。暖地と比較して、夏季を通じて動作日数が少ないことから、地下エアトンネルの涼房性能の劣化は小さいと思われる。

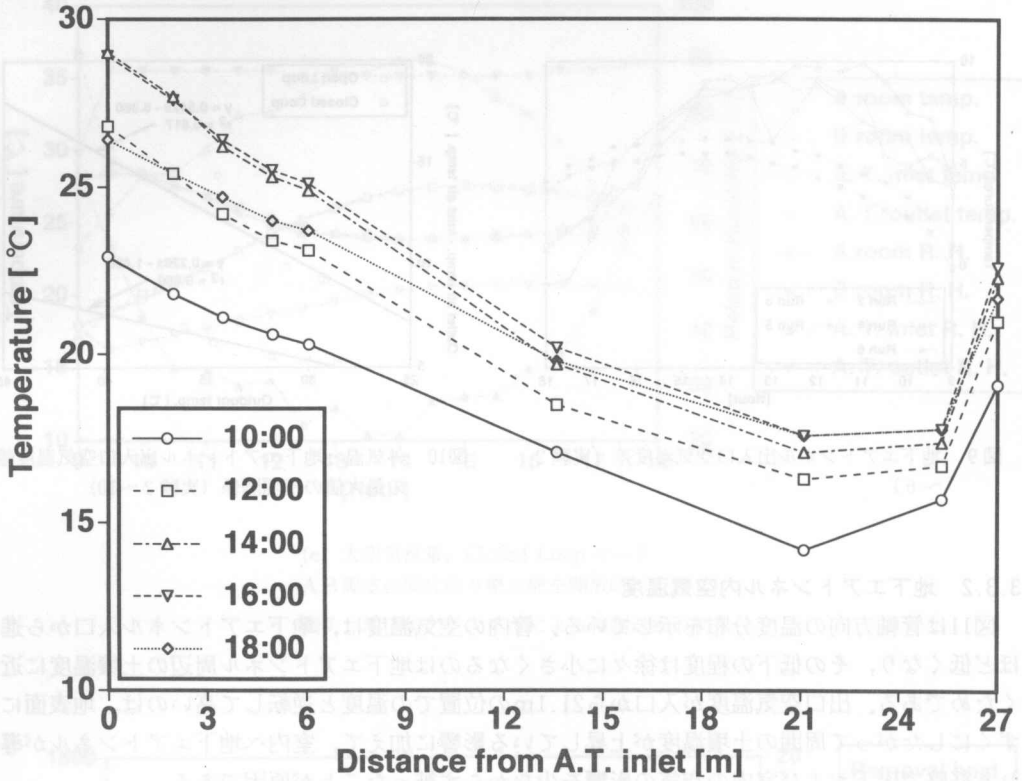
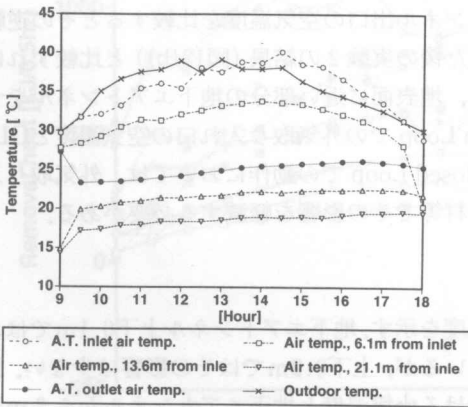
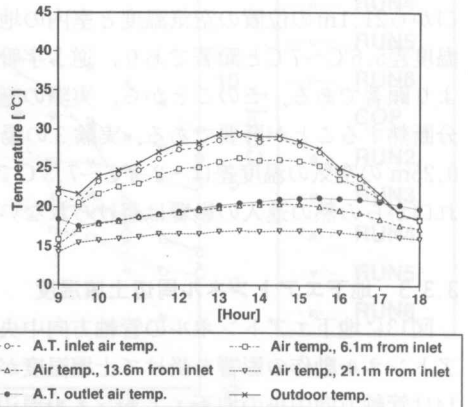


図11 管軸方向の空気温度の例 (実験3)



(a) 逆J字管のある場合 (実験8)



(b) 逆J字管のない場合 (実験2)

図12 地表面からの熱侵入の影響

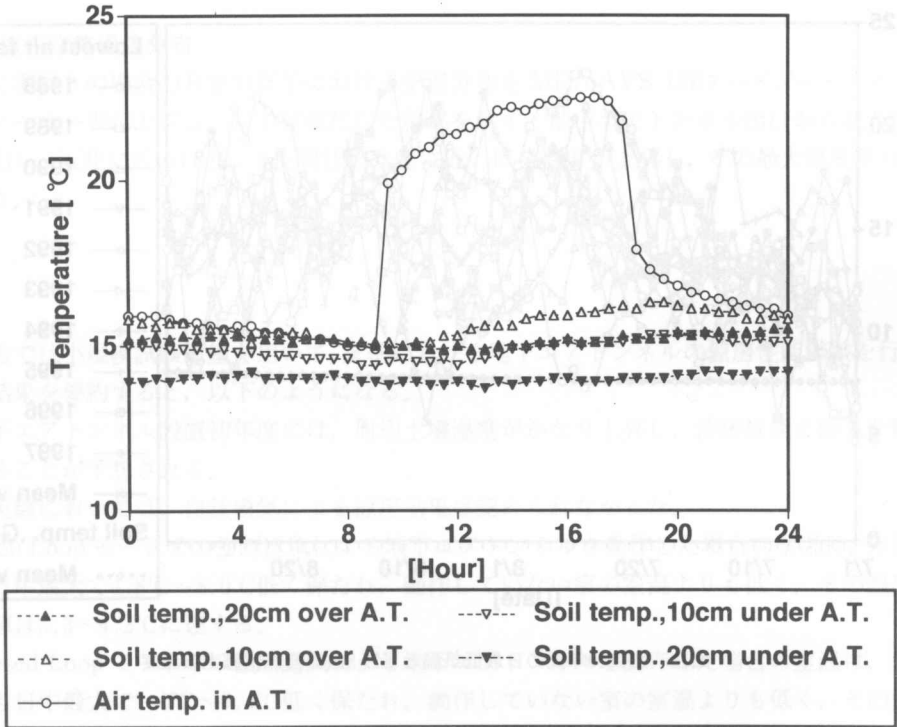


図13 地下エアトンネル周辺土壌温度の例 (実験8)

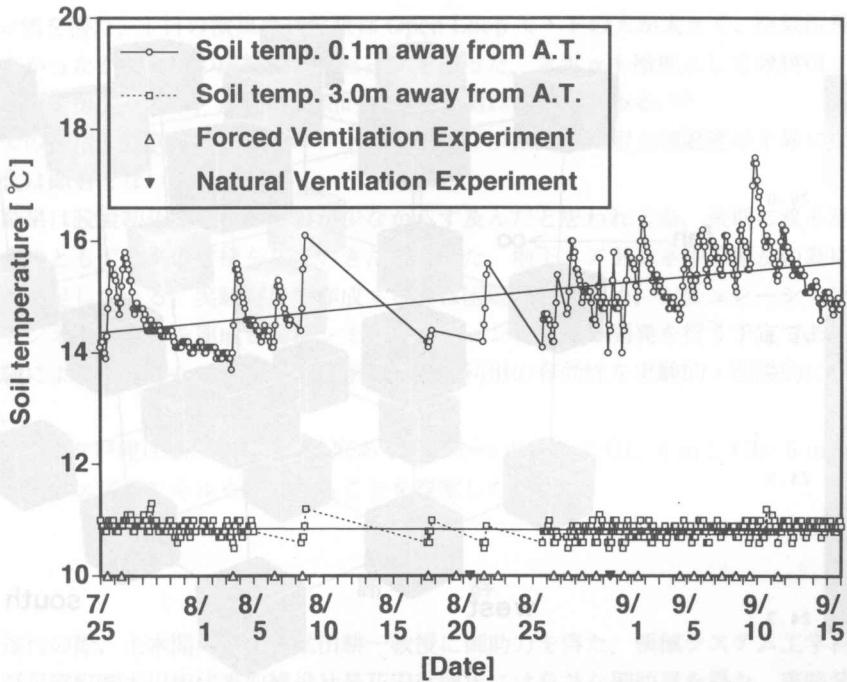


図14 夏季を通じた地下エアトンネル動作に因る周辺土壌温度変動の例

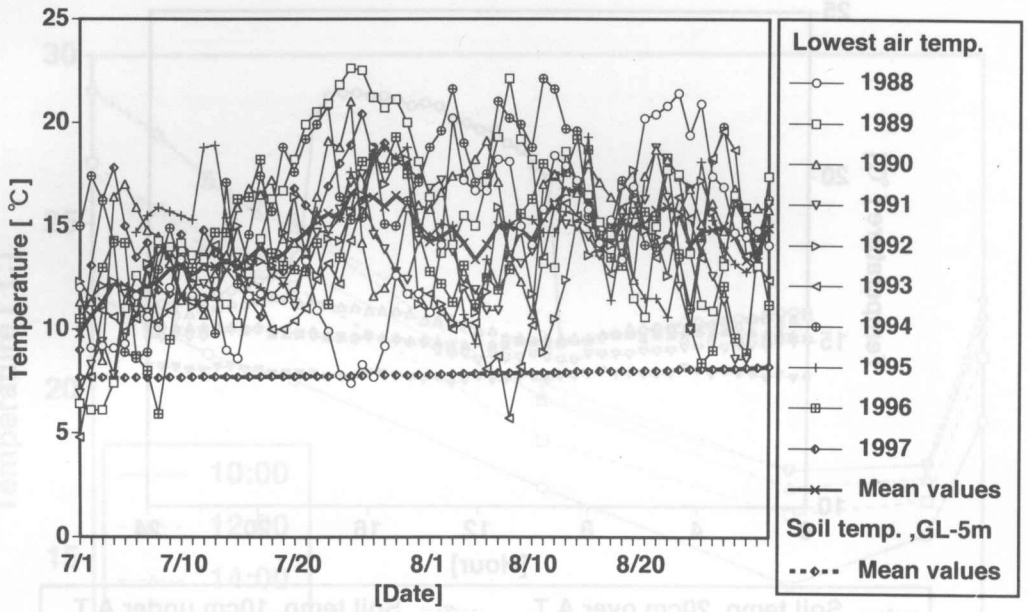


図15 過去10年間の日最低気温とGL-5mの自然状態土壤温度

図15に1988年～1997年の7月および8月における日最低気温とGL-5mの土壤温度を示す。日最低気温の平均値は土壤温度の平均値を上回り、夜間冷気を地下エアトンネルに導いて、日中上昇した地下エアトンネル周囲の土壤温度を低下させる、この方法でのリカバリーは殆ど期待できないことが確認された。

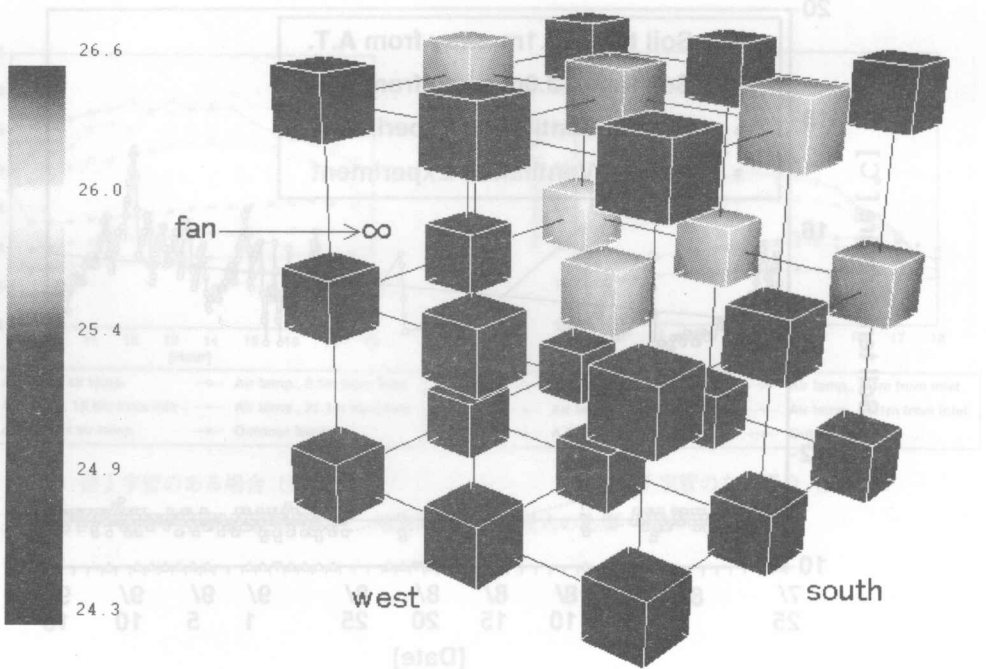


図16 B室室内空気温度分布 (実験9)

### 3.3.4 室内空気温度分布

図16に実験9の場合のB室の正午における室温分布を MicroAVS (株)ケー・ジー・ティー社製品)のマーカー表示モジュールで可視化した結果を示す。地下エアートンネル出口から前方に冷風が吹き出し、天井に近いほど、また間仕切り壁に近いほど温度が上昇し、その最大温度差は $2.3^{\circ}\text{C}$ であった。

## 4. ま と め

本報告では小規模試験家屋を用いて、夏季における地下エアートンネルの涼房性能試験を行った。本実験結果を要約すると、以下のようになる。

- (1) 地下エアートンネル設置初年度には、周辺土壌温度がかなり上昇し、涼房性能に顕著な影響を与えることが予想される。
- (2) 本実験においては、自然換気による涼房効果は認められなかった。
- (3) Open Loop モードでの強制送風による地下エアートンネルを動作した場合の室温は、外気温よりも日中最大で $4.8^{\circ}\text{C}\sim 8.0^{\circ}\text{C}$ 低く保たれ、動作していない室の室温よりも低く、その温度差の最大値は $3.3\sim 4.2^{\circ}\text{C}$ に達する。
- (4) Closed Loop モードでの強制送風による地下エアートンネルを動作した場合の室温は、外気温よりも日中最大で $7.0^{\circ}\text{C}\sim 9.4^{\circ}\text{C}$ 低く保たれ、動作していない室の室温よりも低く、その温度差の最大値は $3.9\sim 5.1^{\circ}\text{C}$ に達する。
- (5) 地下エアートンネル出入口空気温度差の瞬時値は、概して、空気流量が大きいほど小さかった。
- (6) 瞬時の冷却熱量の最大値は、 $224\sim 613(\text{kJ}/0.5\text{hr})$ となり、従来の値と比較して、高い値を得たが、設置2年度以降更に期待できる。1日の成績係数は $6.5\sim 11.2$ となり、従来の値と比較して、高い値を得た。1日の積算冷却熱量は Open Loop モードの方が大きく、空気流量が大きいほど大きかったが、1日の成績係数はピークを持った。スポット冷風としての利用か、あるいは室全体を涼房するのか、用途と温熱的快適性に関わる問題である。<sup>15)</sup>
- (7) 暖地での利用とは異なり、地下エアートンネル動作が原因の周辺土壌温度の上昇による涼房性能の劣化は顕著でない。

本実験結果は設置初年度である影響が少なからず及んだと思われる為、長期に渡る測定が必要であり、今後ともデータの蓄積をしていきたい。また、地下エアートンネルの普及の為には設計用基礎資料が不足している。実験だけで作成するのは困難であるため、シミュレーション、しかも地下エアートンネルと建物を連成させたシミュレーションソフトの開発を行う予定であり、実大家屋での実験により検証したい。また、冬季における利用の有効性を実験的・理論的に検討する予定である。

最後に、対象を戸建住宅に限定して、庭あるいはカーポートのGL-4 mとGL-6 mの位置に並行に2本の地下エアートンネルを設置することを提案したい。

## 謝 辞

本研究遂行の際、土木開発工学科鮎田耕一教授に御助力を得た。機械システム工学科坂本弘志教授および足寄町(株)大川組代表取締役社長花田行博氏には有益な御助言を得た。実験装置製作および実験データ収集に際し、本学学部学生伊藤淳氏、古茂田崇宏氏、光岡圭介氏および最上修市

氏の協力を得た。なお、本研究の一部は、平成9年度北海道科学・産業技術振興財団（ホクサイテック財団）一般奨励研究事業（個人）および平成9年度新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）独創的産業技術研究開発促進事業（8H-176）として行われた。記して深謝する。

### 参考文献

- 1) 河路友也他3名：寒冷地におけるヒートポンプエアコンによる暖房の可能性，日本建築学会計画系論文集，No. 490, pp. 27-34, (1996).
- 2) 中島康孝他1名：クールチューブのシミュレーション解析，空気調和・衛生工学会学術講演論文集，pp. 189-192. (1982).
- 3) 木村建一他3名：クールチューブの涼房効果に関する研究，日本太陽エネルギー学会第9回研究発表会講演論文集，pp. 29-32, (1983).
- 4) 池沢広和他3名：地下ピットを利用した外気取入れ効果の実測，空気調和・衛生工学会学術講演論文集，pp. 625-628, (1994).
- 5) 吉野博他1名：クールチューブ—パッシブクーリングとしての地中熱利用—，太陽エネルギー，第15巻4号，pp. 28-35, (1989).
- 6) Abrams, D. W. et al. : Simulated and Measured Performance of an Earth Cooling Tube, Proc. of the 5th National Passive Solar Conf., pp. 19-26, (1980).
- 7) M. Krarti et al. : Analytical Model for Heat Transfer in an Underground Air Tunnel, Solar Engineering, Vol. 2, pp. 878-888, (1987).
- 8) S. Heslamlou et al. : Performance Analysis of a Closed-loop Climate Control System for Residential and Agricultural Buildings using Underground Air Tunnel, Solar Engineering, pp. 873-877, Vol. 2, (1987).
- 9) 長谷川房雄他3名，パッシブソーラーシステム試験家屋に設置したクールチューブの冷却性能に関する研究(その1)，太陽エネルギー，第14巻第4号，pp. 23-30, (1988).
- 10) 月館司他1名：開放型クールチューブの性能予測，日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集，pp. 197-200, (1992).
- 11) 石川善美他1名：自然エネルギーとしての地中熱利用の可能性とその実施例，IE'SU, 第17号，pp. 70-73, (1995).
- 12) 冬木孝雄他3名：寒冷地における太陽熱の土中蓄熱とその応用に関する研究—土壌の熱的特性，日本機械学会北海道学生会第26回学生員卒業研究発表講演会予稿集，pp. 165-166, (1997).
- 13) 北見工業大学寒地気象観測室：寒地気象観測日報・月報，(1988-1997).
- 14) 土屋喬雄：地熱（地中蓄熱）システムと冷暖房について，空気調和と冷凍，Vol. 10, pp. 55-64, (1978).
- 15) 久保博子他3名：夏期におけるスポット冷風の温熱的快適性に及ぼす影響に関する実験的研究，日本建築学会計画系論文集，第492号，pp. 31-37, (1997).