

地下鉄における空気調和設備

Air Conditioning System for Underground Railway Tunnels

近年、地下鉄は都市交通の主役になったが、乗客の増加に伴い発生熱量が増し、夏季には熱が地下の壁に蓄積され、年々、高温・多湿になってきた。これは欧米の地下鉄に見られないことで、我が国の高温・多湿な気象に起因する。そこで、日立プラント建設株式会社は自然対流式空気冷却器をトンネル内に分散配置するシステムを開発し、世界で初めてトンネル冷房に成功した。この冷却器は、構造が単純かつ保守が容易で、信頼性、安全性に富み、そのうえエネルギー消費が少なく14区間で実動し効果を挙げている。一方、ホーム、コンコースの冷房は、天井吊りファンコイル方式、又はセントラル空気調和方式が採用され、「夏涼しい地下鉄」が実現した。この方式は、我が国が独自で開発した事例として参考に供するものである。

鎌田 幸慈* Kamada Kouji
 中村 卓史* Nakamura Takahito
 浅見 欽一郎** Asami Kin'ichirō

1 緒 言

都市は人間の活動する場であり、情報、人、物の流れが都市の機能を支配する重要な因子である。したがって、狭い面積に多数の人が集まり、絶えず流動する。

その結果、路面電車、バス、タクシーは都市の高密度化に対応できなくなり、今日では地下鉄が都市交通の主役を担うに至っている。地下鉄は安全であり、運行が確実で、外部に公害を出さない長所があるが、一方、タイヤが過密になると、夏季にはトンネル内に熱が蓄積して高温・高湿になるという問題点を持っている。しかし、我が国の高温・高湿な外気条件から、換気による方法では満足すべき結果が得られなかった。そこで、帝都高速度交通営団(以下、営団と略す)では冷房装置の検討を始め、日立プラント建設株式会社もこれに協力して昭和46年夏に、自然対流式空気冷却器によるトンネル冷房実験に成功を取めた。以後、この方式によるトンネル冷房が実施され、これと並行してホームの冷房化も進み、乗客に快適な地下鉄が実現しつつある。

地下鉄冷房設備は制約条件が多く、これに対応するためには新規開発が必要であった。この開発状況と結果、及び将来の展望を述べる。

2 地下鉄の空気調和方式

2.1 制約条件

地下鉄の空気調和システムは、一般ビル用と基本的には同一であるが、次に述べるような種々の制約を受ける。

- (1) 地上に用地がない。
- (2) トンネル断面が小さく、トンネル内に設置する空気調和機器の大きさに制限がある。
- (3) 列車運行時にはトンネル内での保守作業はできない。
- (4) トンネル内の電気品は絶縁不良が生じやすい。
- (5) 火災発生、延焼の恐れがないこと。
- (6) 既設路線に据え付ける場合には、作業時間は列車休止時の3時間以内に限定される。
- (7) 機械的に丈夫で、破損が起こらぬこと。

2.2 温湿度条件

地下鉄は道路の延長であり、長時間居住する場所ではないから、温湿度条件は、外気より多少良い程度で十分であり、

表1 地下鉄空気調和の温湿度条件(試案) 長時間居る場所でないから、ビルの室内より快感度を落としてもよい。試案を示す。

場 所	温 度 (°C)	湿 度 (%)	不 快 指 数	備 考
トンネル	25	60	73	車両冷房しない場合
ホーム	29	50	77	車内と同等とする。
コンコース	27	50	74	—
車 内	29	50	77	—
外 気	32	60	82	夏季における代表値

注：不快指数=(乾球温度+湿球温度)×0.72+40.6
 不快指数65-75が快適、75-80がやや快、80を超えると不快

エネルギー節約の上から最小限度とすべきである。表1に試案を示す。

2.3 熱負荷¹⁾

地下鉄にとって暖房の必要性は全くない。太陽の日射熱は入らず、土の温度は一般に低いので壁は吸熱側になる。それ

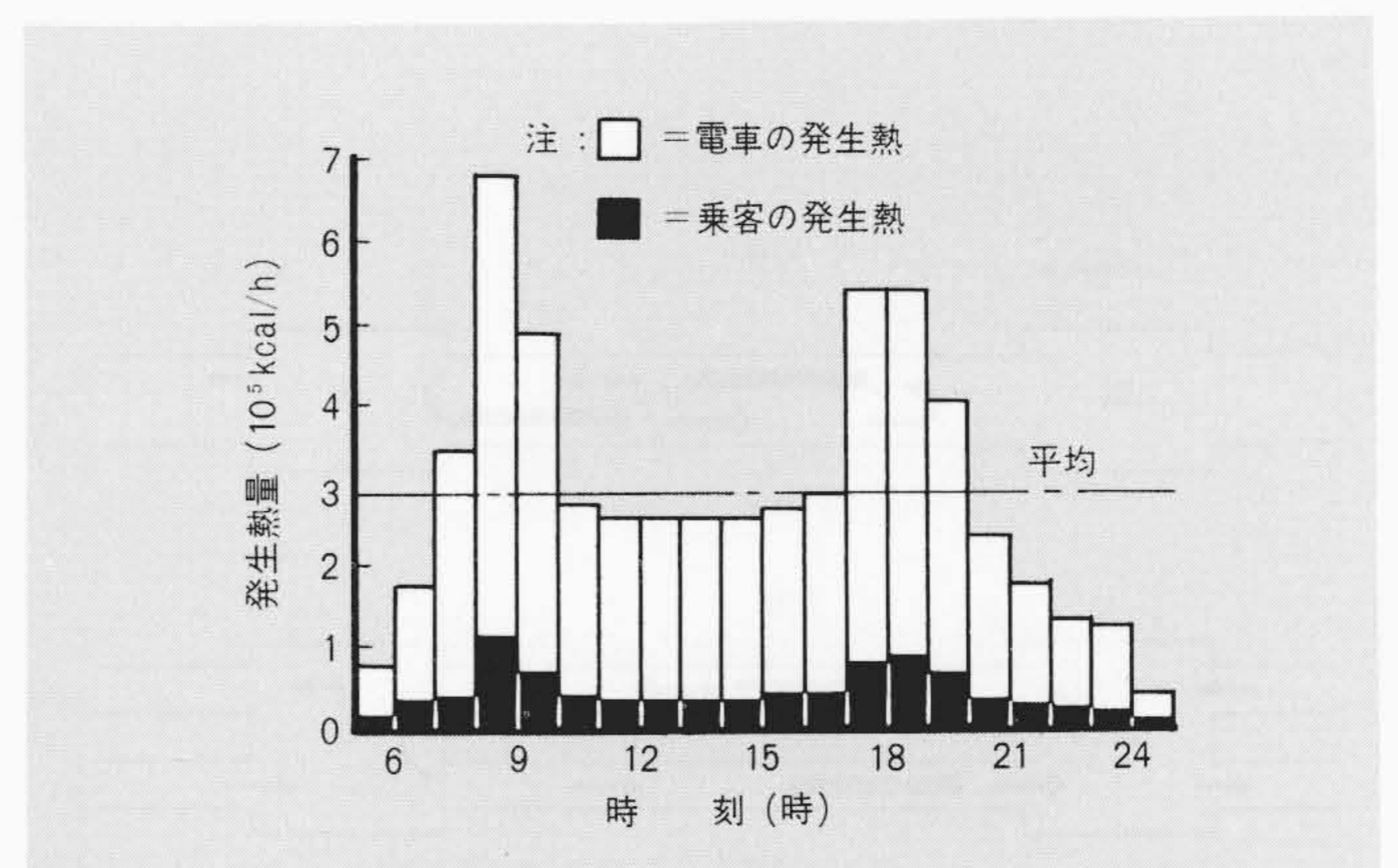


図1 トンネル部発生熱量(東京～銀座間) 平日の列車ダイヤ及び乗客数から計算した値である。朝、夕のラッシュ時に負荷が集中することが分かる。

* 日立プラント建設株式会社 ** 日立プラント建設株式会社研究所

ゆえ、冷房熱負荷は内部発生熱と外気が持ち込む熱だけである。壁への放熱量は地下水の有無、開通後の年数によって大幅に変わる。開通後、数年間は内部発生熱を壁の吸熱により除去でき、冷房が不要であるが、年を経るに従い利用者が増加し列車本数が増すと、壁の吸熱能力が限界に達し冷房の必要が起る。図1に東京～銀座間トンネル部での発生熱の計算値を示す。

2.4 冷房方式

コンコースの空気調和はビルの空気調和と同じ方式であり、特に改めて述べることはない。トンネル、ホームの冷房は車両冷房の有無と関連して、表2のように4通りのシステムが考えられる。

A方式は既設路線に適用可能なので、主要駅に早くから実施された。列車が走行する際に起こす列車風は意外に少なく、ホーム部は低温になってもトンネル部は高温を保ち、したがって、車内が高温になり冷房効果は不十分である。

B方式はA方式の欠点を改良し、トンネルを冷房することにより車内に冷房効果を及ぼすものである。

C及びD方式は冷房車乗り入れ路線に採用されるものである。車両冷房用に消費する電力は走行用電力の30%に及び、この熱がトンネル及びホームの冷房負荷に加わるので冷房装

表2 地下鉄の空気調和方式 冷房車乗り入れの場合にはC、D方式となるが、車両冷房装置の発熱があるためトンネル及びホームの冷房負荷が増し、コストが高くなる。

方式	対象場所			実施例	冷房効果	費用
	トンネル	ホーム	車両			
A	換気	冷房	なし	東京都交通局 大阪市交通局 名古屋市交通局	不十分	小
B	冷房	冷房	なし	帝都高速度交通営団 大阪市交通局	十分	中
C	換気	冷房	冷房	日本国有鉄道 京王帝都電鉄株式会社 京阪電気鉄道株式会社	良	大
D	冷房	冷房	冷房	将来実施計画あり	良	最大

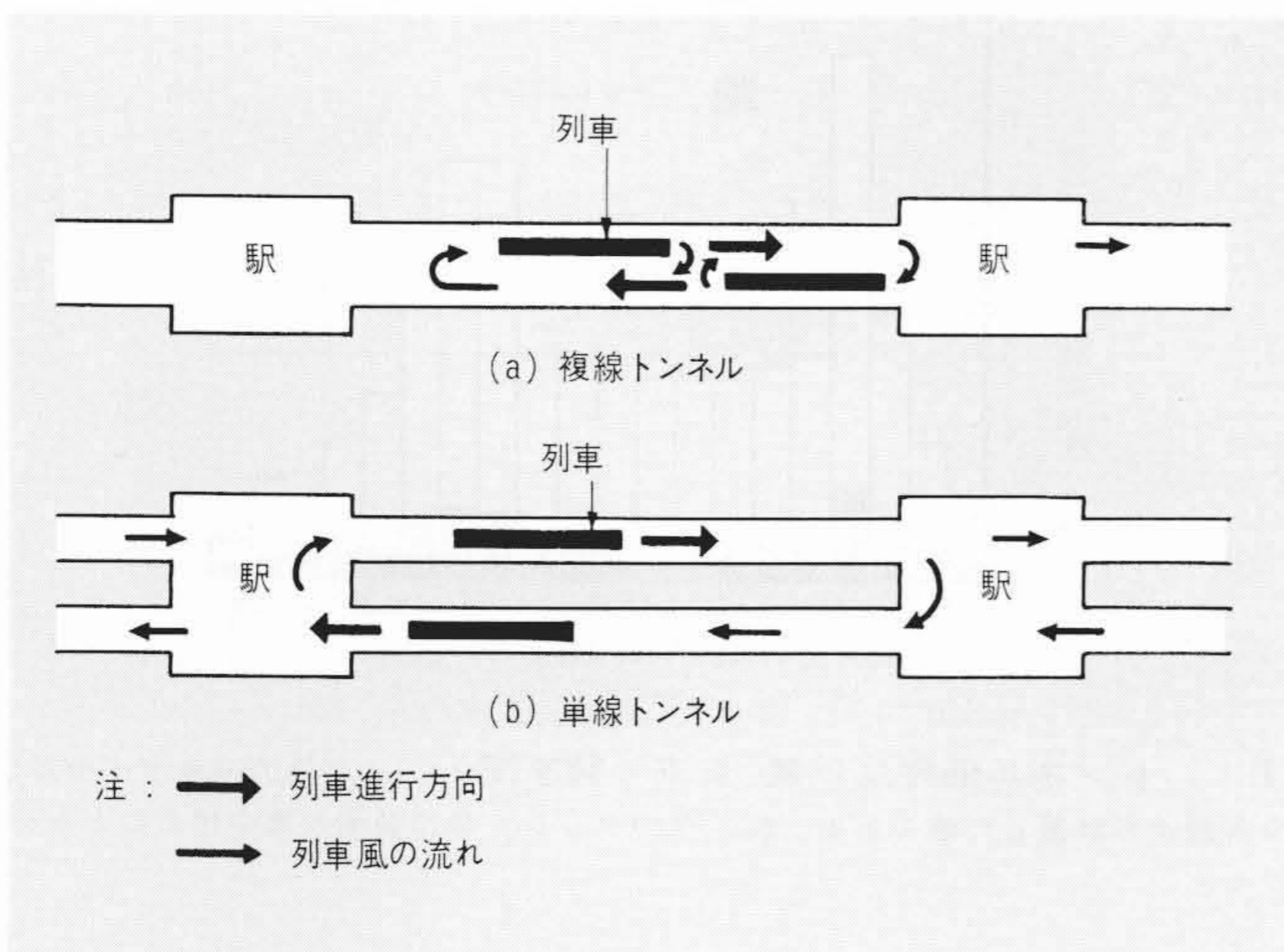


図2 列車風の挙動 複線トンネルでは、列車風がトンネル内で循環し駅への影響が少なく、単線トンネルでは列車風が駅内を通過する。

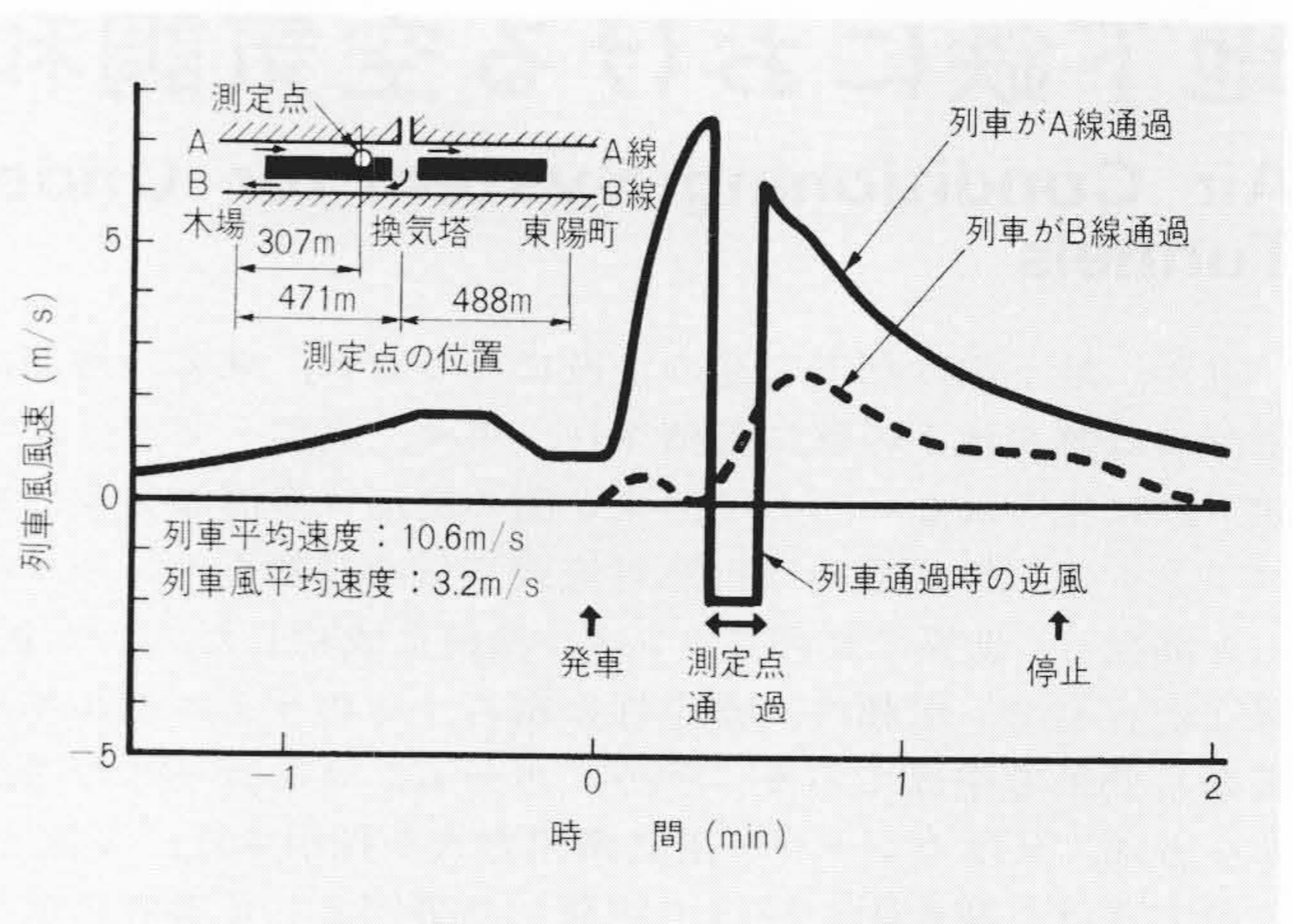


図3 単線トンネルでの列車風 営団東西線、木場～東陽町間の実測値を示す。列車風速度は列車速度の約30%であり、また反対側に列車が通過する場合にも列車風が発生することが分かる。

置のインシヤルコスト及びランニングコストが増し、更に車両冷房装置のコストが加わってコスト高になる。

3 地下鉄トンネル冷房装置

3.1 列車風の挙動

列車がトンネル内を進行すると、ピストン作用により列車風を起こす。図2に示すように、複線トンネルでは列車風はトンネル内で循環し駅への影響は少ないが、単線トンネルでは、トンネル内で一定方向の風が生じ駅の端を通じて循環する。

図3に単線トンネルでの列車風の測定例を示す。列車風の速度は列車速度の30%であり、また反対側のトンネルにも影響を及ぼしていることが分かる。

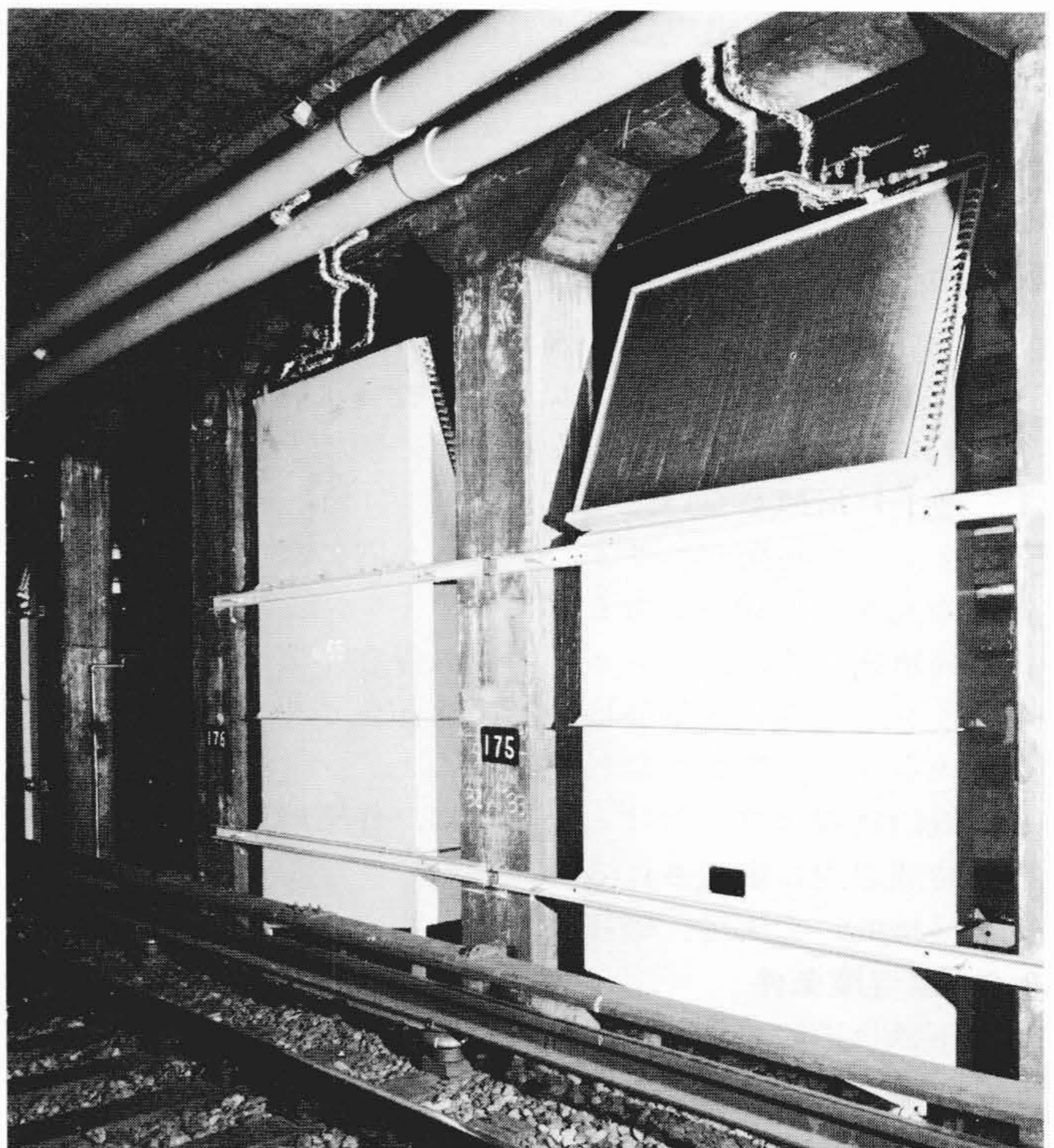


図4 自然対流式空気冷却器設置状況 複線トンネル中央部の柱に取り付け冷水配管と接続する。トンネル内のスペースが狭いことが分かる。

3.2 複線トンネル冷房装置^{2),3)}

複線トンネルで列車風はトンネル内を循環し、駅部との空気交流が少ないので、駅を冷房してもトンネルは高温を保つことが分かり、トンネル部分に冷房装置を分散配置する必要に迫られたが、トンネルの断面は狭く、通常の冷房装置を設置できない。そこで自然対流式空気冷却器を開発し、これをトンネルの柱間に図4のように分散配置することにより難問を解決し世界最初の地下鉄トンネル冷房に成功した。図5に空気冷却器の性能を示す。この冷却器は送風機がなく、空気冷却器と風道だけであり、冷やされた空気が風道の逆煙突効果によって下方に流出するもので、極めて簡単な構造であり信頼性、安全性が高い。エアフィルタがないが、冷却器表面に生ずる結露水によって、塵埃が自然洗浄されるので保守費が少ない。表3に営団及び大阪市交通局において日立プラント建設株式会社が施工した、自然対流式空気冷却によるトンネル冷房の実施区間を示す。図6に冷房システム系統図を、図7に冷房運転中のトンネル内温湿度の一例を示す。

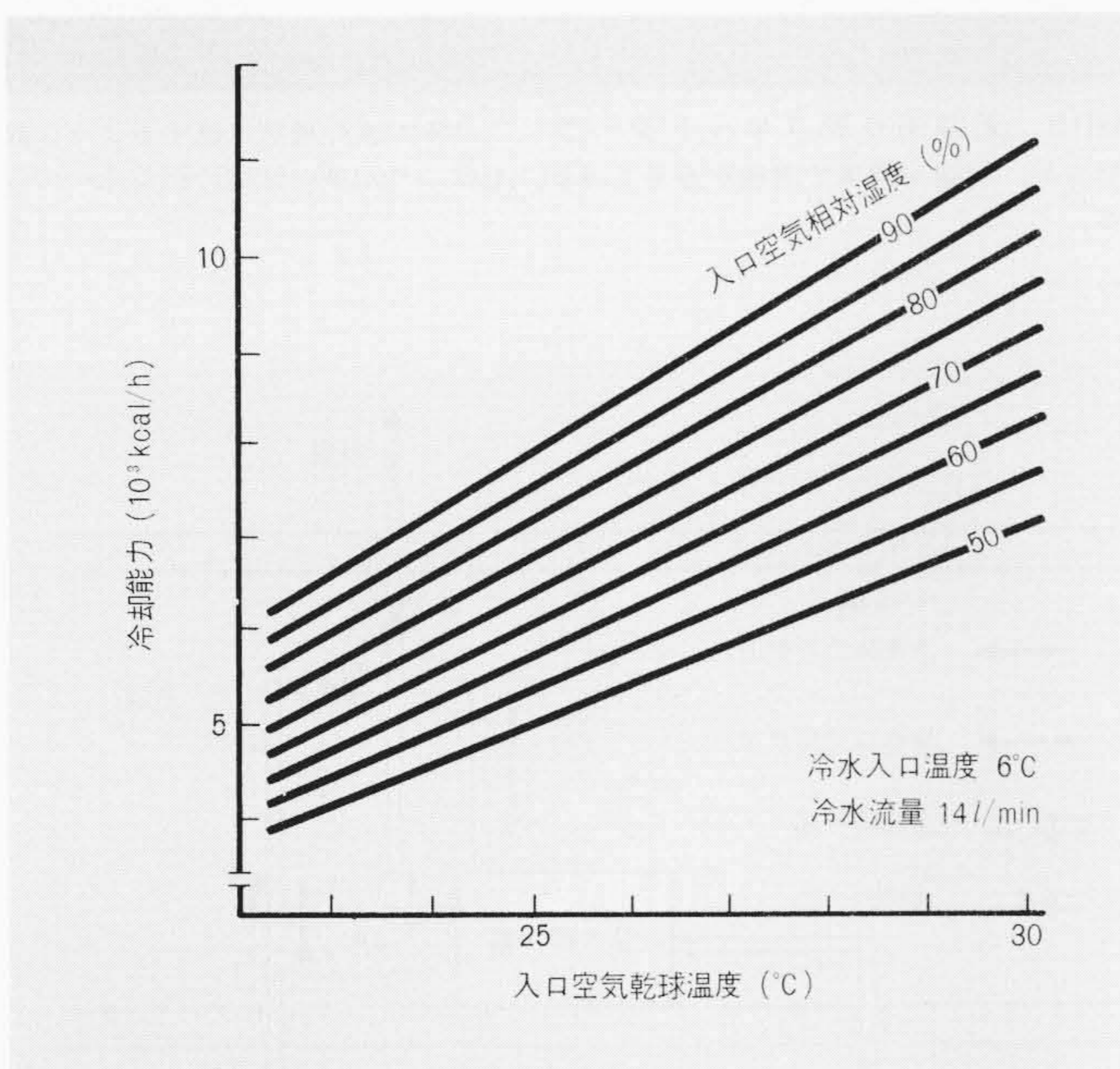


図5 自然対流式空気冷却器の冷却性能 自然対流に頼るため、周囲空気の温度が高いほど通風力が增大し、冷却能力が増大することが分かる。

表3 トンネル冷房実績 昭和52年6月までに日立プラント建設株式会社が施工した自然対流式空気冷却器方式の実績を示す。

所有者	冷房区間	冷却熱量 (10 ³ kcal/h)
帝都高速度交通営団	上野 ~ 稲荷町	302
	東京 ~ 銀座	435
	虎ノ門 ~ 新橋	230
	三越前 ~ 神田	221
	銀座 ~ 京橋	227
	池袋 ~ 新大塚 ~ 茗荷谷	1,597
	新宿三丁目 ~ 新宿御苑前 ~ 四谷三丁目	756
	上野 ~ 上野広小路 ~ 末広町	680
	末広町 ~ 神田	390
大阪市交通局	淀屋橋 ~ 本町 ~ 心斎橋	612
計	14 駅間	5,450

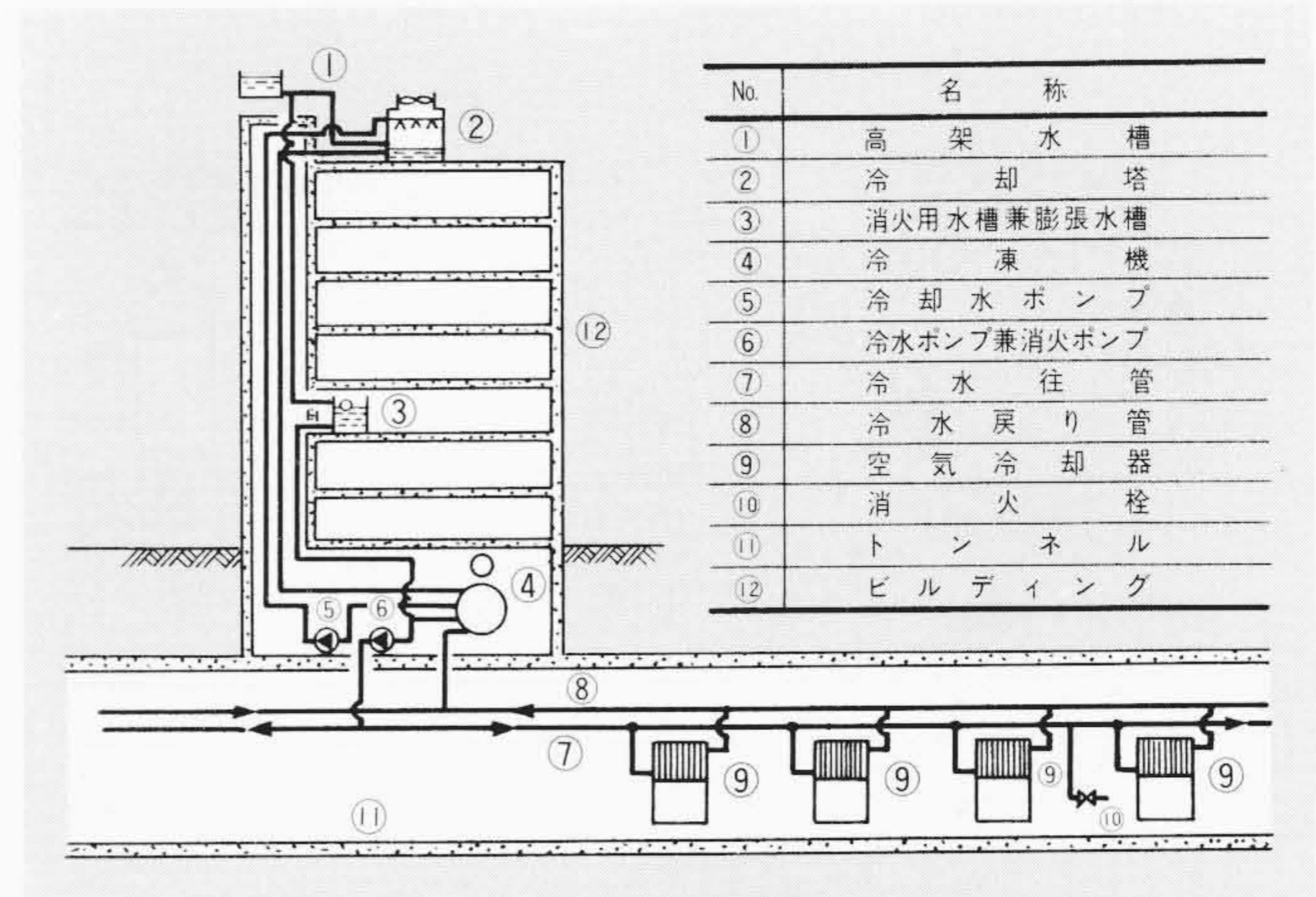


図6 トンネル冷房システム系統 冷凍機設備はビルの一部に置き、冷水管をトンネル内に布設して空気冷却器と接続する。冷水管は消火用に兼用できる。

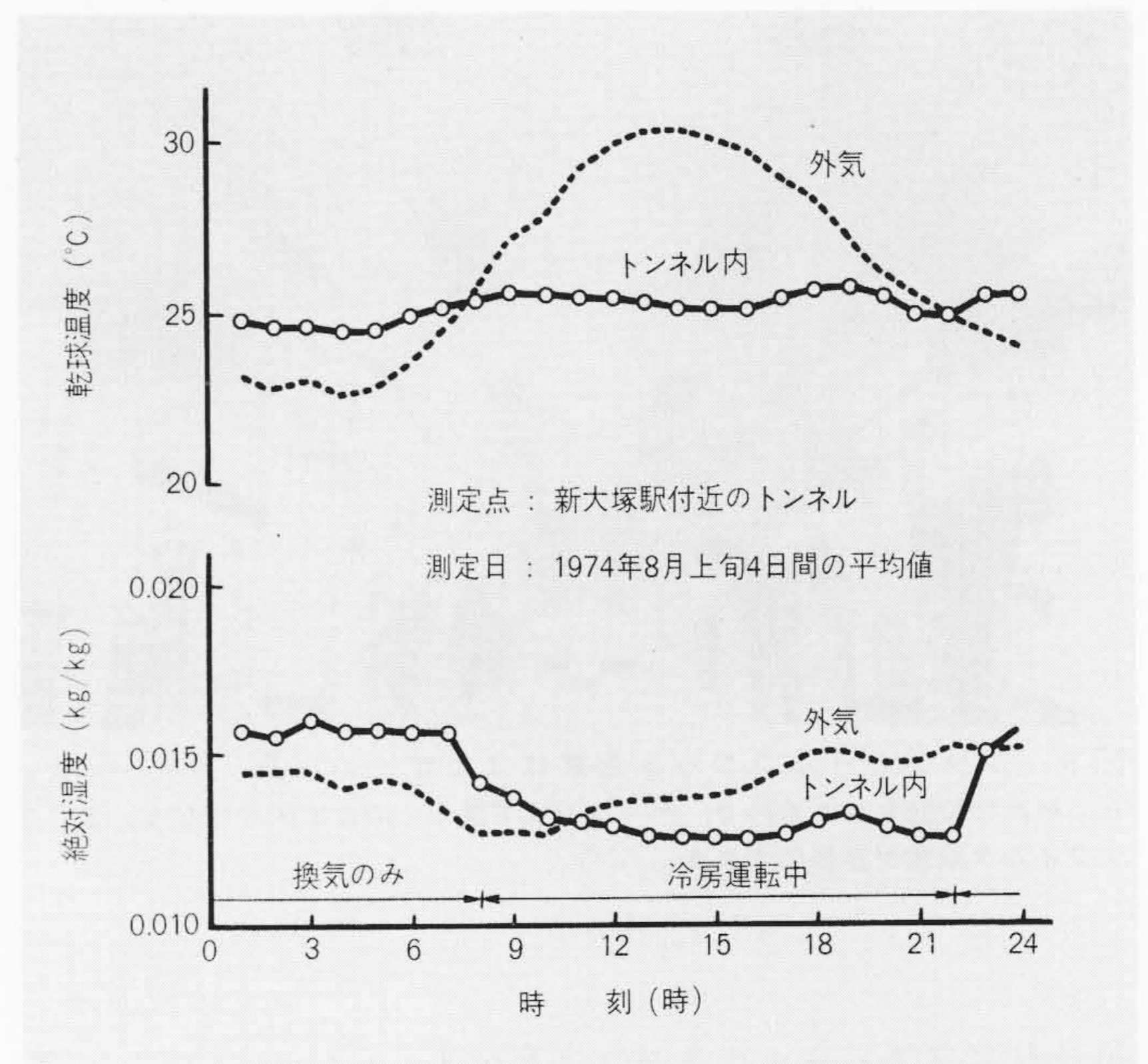


図7 自然対流式空気冷却器によるトンネル冷房効果 盛夏における実測値を示す。十分な冷房効果が得られていることが分かる。

3.3 単線トンネル冷房

我が国での単線トンネルは経過年数が短く、トンネル冷房が必要な状態に達していないが、将来、冷房を必要とする時がくると思われる。単線トンネルには列車風が流れるので、駅からトンネルへ冷風を流す方式や、自然対流式空気冷却器を列車風により能力が増大する構造にしたものなどが考えられている。図8に一例を示す。

4 地下鉄ホーム冷房⁴⁾

4.1 ファンコイルユニット方式

既設線のホームには冷房装置を設置するスペースがないので、ファンコイルユニットをホーム天井に吊る方式が営団で採用されている。この場合、エアフィルタの清掃が問題になる。そこで、ロール式自動巻取り形、又は真空集塵装置付のエアフィルタが用いられている。図9に丸ノ内線東京駅に設

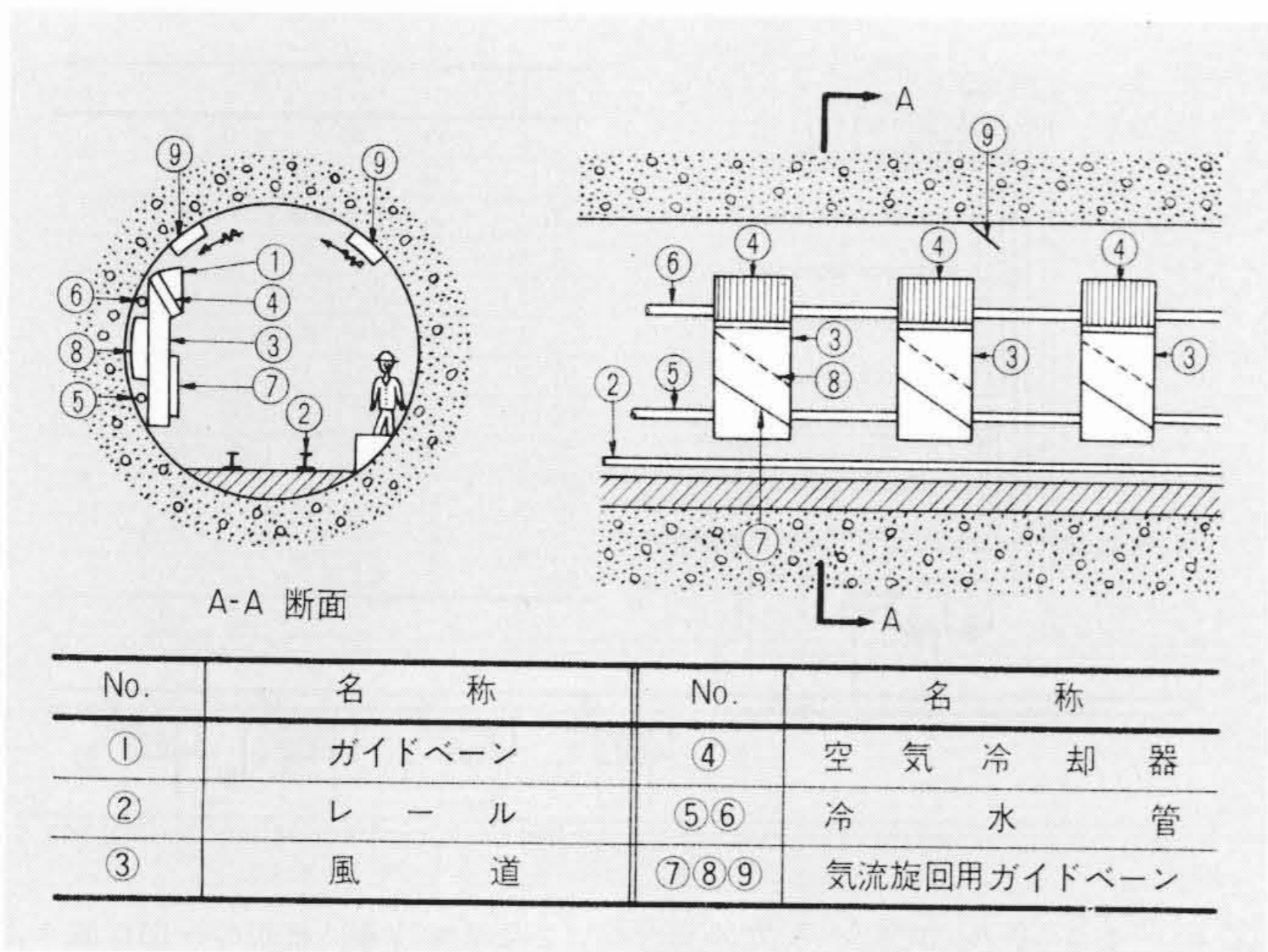


図8 単線トンネル用空気冷却器の一例 列車風を旋回させて空気冷却器に導入することによって能力増大を図る方法で、列車風利用の一案である。



図9 ファンコイルユニット方式によるホーム冷房 ホーム用として特別に設計されたもので、ケーシング下面がそのまま天井になる。またエアフィルタ取替が容易にできる。

置かれたファンコイルユニットを示す。

図10に示す天井吊り形ユニットクーラは工場用として日立プラント建設株式会社が開発したものであるが、ホーム用にも適するものと思う。

4.2 セントラル方式

この方式は、ビルの空気調和方式と同様であり、大形空気調和機を機械室に設置し、ダクトを通じて送風するものである。保守・点検が容易で、故障が少ない利点があるが、機械室や風道を通すためのスペースを必要とする。図11にその一例を示す。

5 結 言

地下鉄が都市交通の主役を担うためには、冷房設備が必要である。しかし、過度の快適さは不要であり、省エネルギー、経済性及び安全性に重点を置いた設備にすべきである。その点トンネル冷房には自然対流式空気冷却器が最適であろう。

地下鉄トンネル冷房を実現できたことは、新製品開発に対する、帝都高速度交通営団の御理解と、御指導によるものであり、東京都交通局、大阪市交通局の御協力に負う点も大である。ここに深く謝意を表わす次第である。

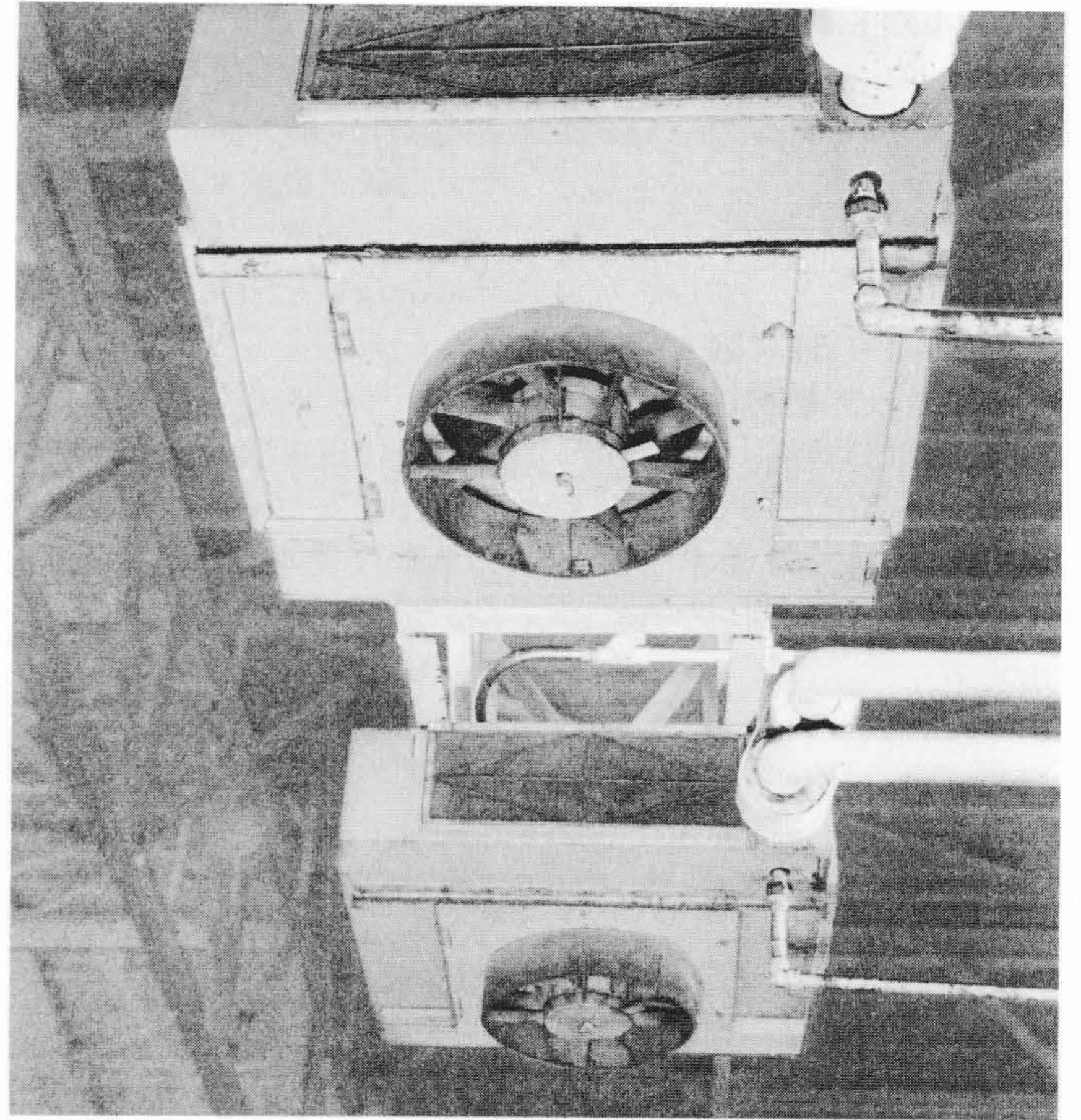


図10 天井吊り形ユニットクーラ ごみが多い場所に適するように設計され、構造が簡単で清掃が容易である。土ぼこりが多い地域の駅に向いている。

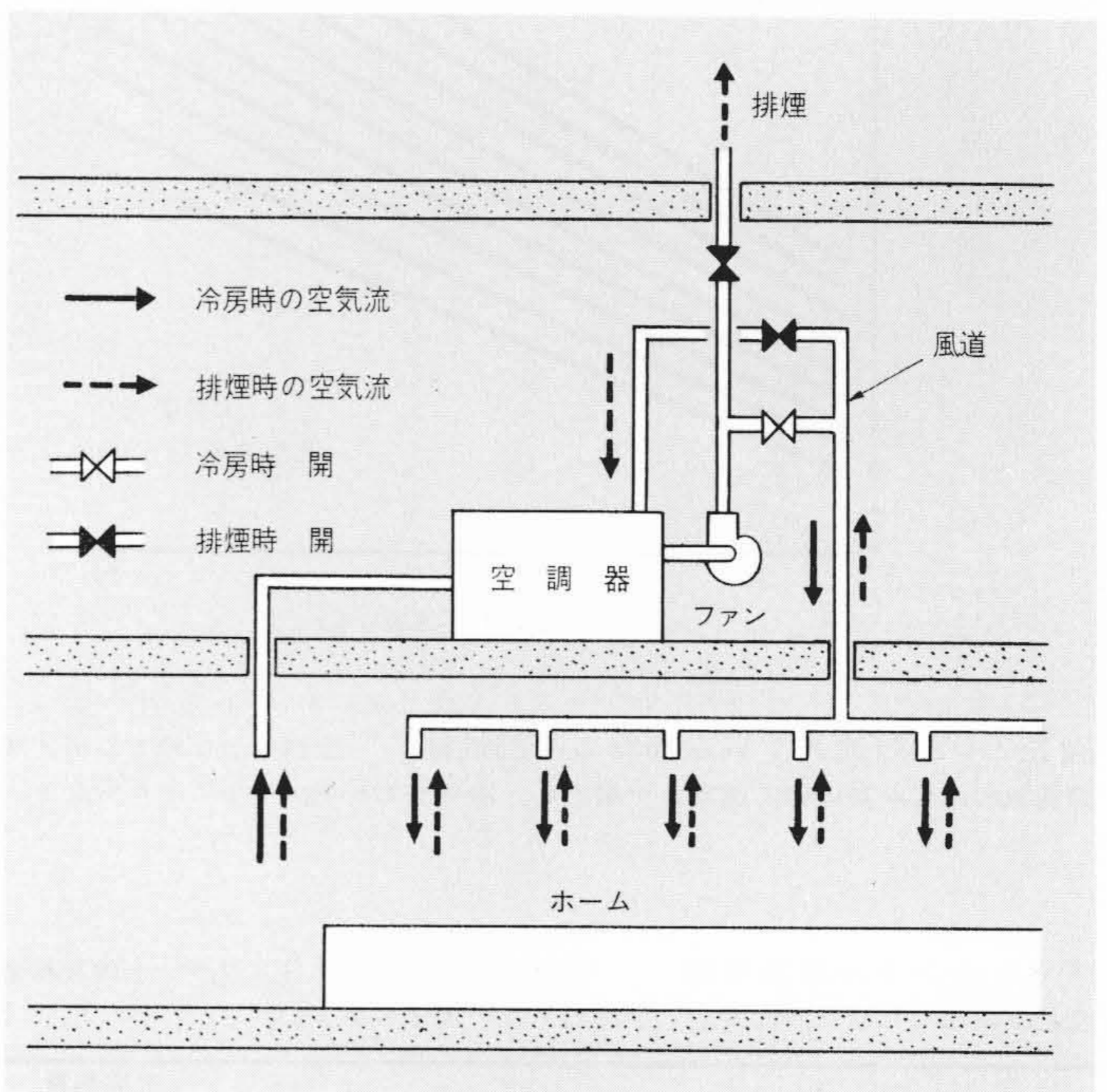


図11 セントラル空気調和方式の一例 保守点検上、本方式が有利である。火災時には送風機を排煙に利用できる。しかし、空気調和器及びファンを設置するスペースが必要である。

参考文献

- 1) 森田：地下鉄トンネルの熱負荷の実測と解析，冷凍，48，545，83-94 (1973)
- 2) 鎌田：地下トンネル冷房，冷凍，48，545，95-103 (1973)
- 3) 鎌田，御木：地下鉄トンネル冷房用自然対流式空気冷却器の性能解析に関する研究，冷凍，48，544，32-43 (1973)
- 4) 中川：地下駅ホーム・コンコース，冷凍，48，545，104-112 (1973)