

世界最大規模の地域冷暖房用冷却塔

World's Largest Scale Cooling Tower for District Heating and Cooling



(気)生産部 技術第2課
小林 徹 晴
Toshiharu Kobayashi

Shinko Pantec has recently delivered Japan's largest scale cooling tower to the Shinjuku New Midtown District Heating and Cooling (DHC) Center of Tokyo Gas Co., Ltd. The capacity of cooling facilities at the DHC Center is 47 000 RT, the world's largest scale of its kind, and further expected to reach a capacity of 59 000 RT, when the future installations are included. The DHC tower has to overcome a number of external restrictions at the design stage, such as prior study of effect by a special air flow on performance of the cooling tower, abatement of plume which has substantially adverse effect on surrounding environment, space-saving requirements, and so forth.

This paper presents how our cooling tower supplied to the above DHC Center responded to those external restrictions, and also presents how the cooling tower contributes to the systems of the DHC plant.

まえがき

地域冷暖房とは、一定地区の建物群に、一カ所または数カ所の熱供給プラントで作った冷水、蒸気、温水などの熱媒を配管に通して供給し、冷房、暖房、給湯などを行うシステムである。

供給区域内の熱需要家に供給し、5ギガカロリー/時(Gcal/h)以上の熱発生性能を持つ施設による地域冷暖房は、公益事業として(熱供給事業法)の適用を受け、供給区域内での需要家への安定供給が義務づけられることになる。

本稿で紹介する新宿新都心地区の東京ガス株式会社新宿地域冷暖房センターは1971年4月に京王プラザホテルへ冷水および蒸気の熱媒を供給して以来、同供給区域内の超高層ビルの建設に合わせて規模を拡大し、約20年にわたって安定した熱供給を継続している。

'91年1月には、新都庁舎の完成など増大する熱需要に対応するため、旧プラントに代わって世界最大規模の新しい地域冷暖房センターがスタートした。最終的には熱供給を要する超高層ビルは15棟、周辺ビルも5棟となり、その総床面積は約220万 m^2 に達することが見込まれている。そして最終段階での冷凍設備能力は59 000 RTとなる。

写真1は新宿地域冷暖房センターの全景の模型を示す。

当社では、新宿地域冷暖房センターの新設に伴い、第1期工事対応分として、47 000冷凍トン相当の冷却塔設備を内入した。

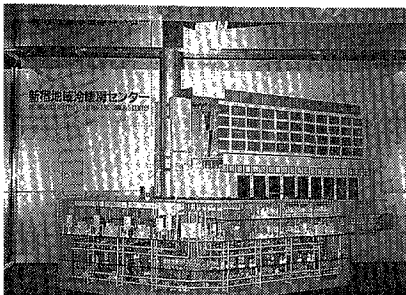


写真1
新宿地域冷暖房センター
Photo. 1
Shinjuku district heating and cooling center.

新宿新都心の大規模地域冷暖房施設という立地条件を踏まえ、省スペース、低騒音化、白煙の低減など、都市環境との調和、および都市景観の改善についてとくに配慮する必要性から、省スペース型重層式冷却塔の開発をすすめたので、その実績を紹介する。

1 プラントシステムの概要

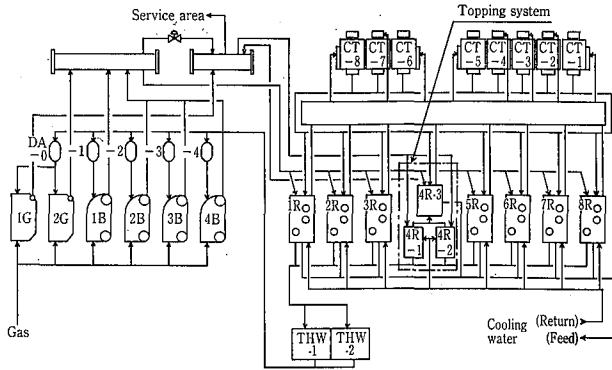
当地区の熱供給方式は都市ガスを熱源とし、熱媒として冷熱については4°C冷水の供給を行い、温熱については暖房、給湯、加湿などへの利便性の高い蒸気(9.9 kg/cm² G, 200°C)の供給を行っている。

新しい地域冷暖房プラントは高効率化と省エネルギー化を図り、主要設備を地下に設置して省スペース化が追求されている。主な特長は次のように要約できる。

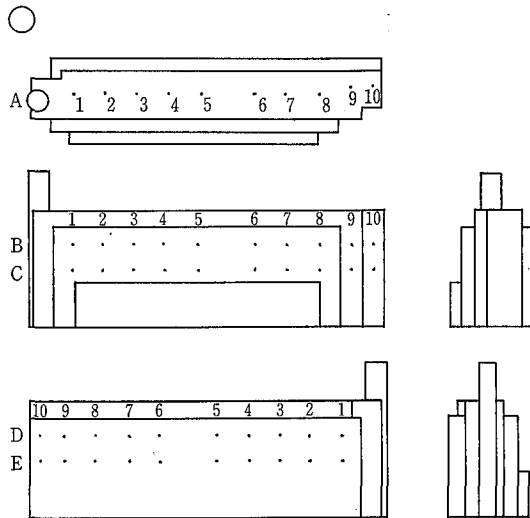
- (1) 最終冷凍設備能力は59 000 RTと世界最大の地冷センターとなる。
- (2) ガスタービンによるコージェネレーションを2基導入し、高効率・省エネルギーを追求する。
- (3) 冷凍機として改良型トッピングシステムを採用し、コージェネレーションとの組み合わせにより、システム全体のエネルギー効率の向上を図る。
- (4) 世界最大の単機容量10 000 RT復水タービン・ターボ冷凍機を採用し、省エネルギー・省スペースを図る。
- (5) 冷却塔設備は、設定面積の小さいクロスフロー2層式を採用する。

本プラントシステムは背圧タービンターボ冷凍機と蒸気吸収式冷凍機の組み合わせ冷凍機システムである。トッピングシステムをベースロード冷凍機として年間を通して、高効率で冷房を行う。一方、トッピングシステムと組み合わせコージェネレーションシステムを運用することにより稼働率を向上させ、排熱回収蒸気を冷凍機駆動用あるいは、地域蒸気として利用して省エネルギー性を向上させている。

プラントシステムの概略フローを第1図に示す。



第1図 熱源プラント，全体系統図
Fig. 1 Heat source system diagram



第2図 風圧計算位置
Fig. 2 Location of pressure anemometer

2 冷却塔設計における検討事項

省スペース化を実現することはもちろん、限られた空間スペースの中で冷却性能を確保し、騒音の低減、飛散水の低減、保守性の確保など、様々な検討事項を克服する必要がある。

次に、これらの検討課題について特記すべき項目を示し、その内容について述べる。

2.1 ビル風の冷却塔に与える影響

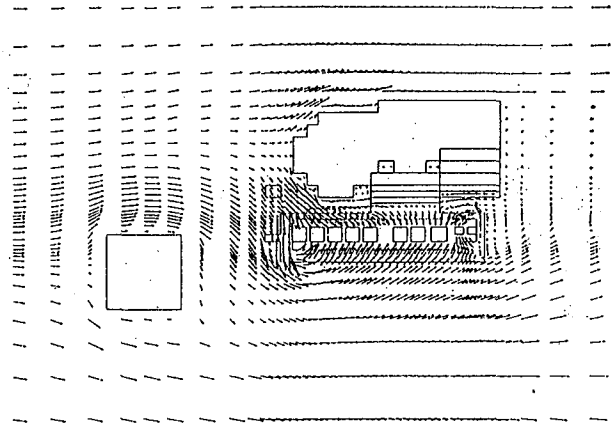
新宿地域冷暖房センターの近隣高層ビルによる風向、風圧の影響に伴い冷却塔性能への影響予測を行った。

これは、東京ガス株式会社が実施した建物モデルを使用した風洞実験結果より、冷却塔吸気部およびファン吐出部の風圧分布を求め、このデータから冷却塔性能評価を行う方法によった。

風洞実験結果の風圧係数より、冷却塔の吸排気面の圧力差を求め、吸気面に対し排気面が負圧であれば冷却塔への流入空気が減少するため、この負圧を考慮して設計された送風装置における流入空気量での冷却水温度を求める必要がある。第1表、第2図に検討結果の例を示す。

2.2 冷却塔まわりの空気の流れの検討

前述のとおり風圧調査は風洞実験によって行われた。ところが、風洞実験では冷却塔を全体的にとらえ、冷却塔の



第3図 冷却塔まわりの空気の流れ（速度ベクトル）
Fig. 3 Airflow in the vicinity of cooling tower (velocity vector)

第1表 ビル風の冷却塔に与える影響検討例

Table 1 Example of study of effect by wind on cooling tower

Direction of open air	No.	Intake air velocity (m/s)				Cold water temp. (°C)			
		B	C	D	E	B	C	D	E
East	2	3.29	3.33	2.44	2.47	31.7	31.7	33.2	33.1
	3	3.03	3.09	2.75	2.72	32.2	32.0	32.6	32.7
	7	2.43	2.70	3.15	3.48	33.2	32.7	32.0	31.5
East-southeast	2	3.46	3.43	2.73	2.88	31.5	31.6	32.6	32.4
South-southeast	4	3.44	3.45	2.81	2.79	31.5	31.5	32.5	32.5
	5	3.43	3.44	2.82	2.82	31.6	31.6	32.5	32.5

Velocity of open air: 20 m/s (at 187 m above the ground)
Pressure loss of soundproof wall: 3.0 mm Aq (at design conditions)

吸排気については考慮されていないため、冷却塔近傍の空気流れの検討を行い、冷却塔排気の再循環の可能性の有無について確認を行う必要があった。妥当な大きさの冷却塔で風洞実験を行わせればこの検討は不要である。しかし、風洞の規模、対象地域から見て冷却塔の大きさは実物の1/500程度のモデルとなり、冷却塔の吸排気を考慮することは困難であると考え、さらに実態に近いシミュレーションを進めるために、冷却塔の吸排気を考慮したモデルにおいて、数値計算による、冷却塔排気の再循環（排気空気の冷却塔吸気面への流入）の有無の確認を行った。第3図に結果の一例を示す。

2.3 白煙対策

冬期および中間期に冷却塔から出る白煙(可視プルーム)により、道路の視界に対する影響あるいは近隣ビルに対する影響などが予想される。そこで冬期および梅雨期の負荷を予想して3基の冷却塔に空気加熱器を設置し、更に湿式上層部に吸い込み空気調整用ダンパーを取り付けた。これらの対策により、白煙(湿り空気)に乾燥空気をまぜ合わせ、白煙長さを20 m以下に減少させることを目標とした。白煙対策を実施する場合は、乾式ダンパーを開、湿式ダンパーを閉とする。第2表に熱負荷と冷却塔運転台数と白煙長さを示し、写真3は乾湿併用運転時の白煙長さ、写真4は湿式運転時の白煙長さを示す。

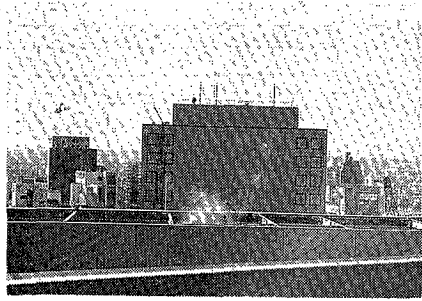


写真 3 乾湿併用運転
Photo. 3 Dry and wet type tower in operation.

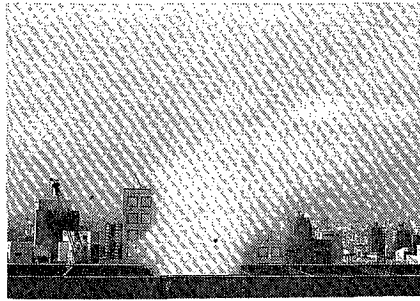


写真 4 湿式運転
Photo. 4 Wet type tower in operation.



写真 5 新設(左上隅), 既設冷却塔(右上隅)
Photo. 5 Cooling towers newly installed (top left-hand) and previously installed (top right-hand).

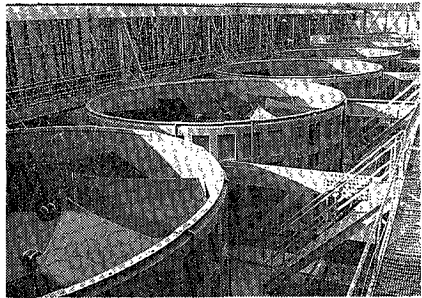


写真 6 大口径高効率超低騒音ファン
Photo. 6 Large opening, high-efficiency super low-noise fan.

3 重層式冷却塔について

3.1 省スペース対策

一般的に、地価および建設費の高騰によりプラント設備は十分なスペースが確保できない。従って全てのプラント設備の建設において省スペース化が要求される。冷却塔をコンパクト化しようとするれば、熱交換能力の高い充填材が要求されるが、いかに熱交換係数の高い充填材においても、水負荷(単位面積当たりの水量)を無限に大きくすることはできない。冷却塔を設計するにあたっては、与えられた条件を満たす最も有効な水負荷と、空気量の設定が重要である。従来、水負荷が限界を越えた場合、平面的に処理面積を拡張して水負荷を調整する方法が一般的であった。重層式冷却塔は、立体的に処理面積を拡張して冷却塔の設置面積を抑制しながら冷却塔の大容量化を図ろうとするものである。

このたび当社が開発した高性能省スペース型重層式冷却塔は、東京ガス株式会社幕張地域冷暖房センター(一期工事6000 RT)で既に順調に稼働中であり、本稿で紹介する冷却塔は従来型に比べ約45%以上設置面積が節約できる。写真5は新宿新都心に納入した既設冷却塔41000 RTと新設47000 RTの比較写真である。既設冷却塔は、カウンターフロー冷却塔で設置面積1755 m² (41000 RT)、新設冷却塔は、重層式冷却塔で設置面積1000 m² (47000 RT)となっている。

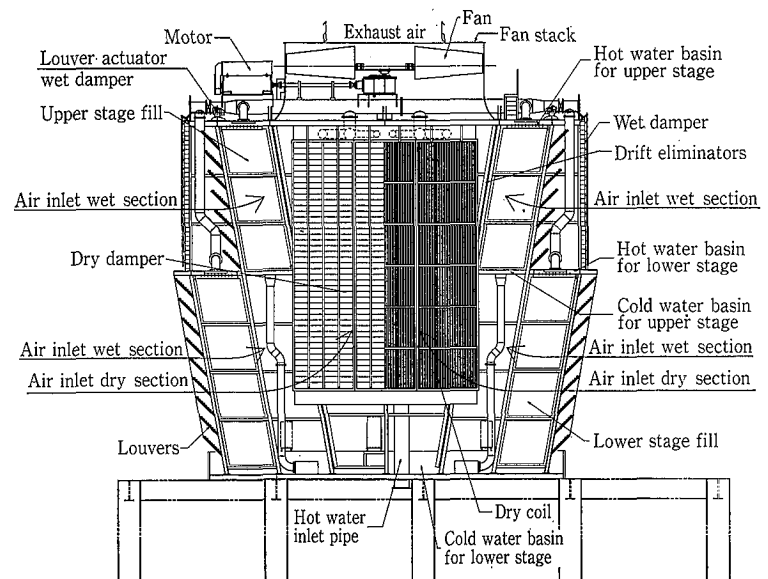
3.2 構造

重層式冷却塔は設置スペースを最小限に抑えることを目的とし、当社が実用化に向け開発した高性能省スペース型

第2表 熱負荷と冷却塔運転台数と白煙長さ

Table 2 Heat load, number of cooling towers in operation and length of visible plume

Dry-bulb temperature °C	Relative temperature %	Wet-bulb temperature °C	Load RT	Water flow m ³ /h	Number of units	Motor P	Length of visible plume m
18.0	92	17.1	18 000	11 320	3	4	20
-0.5	94	-0.8	3 000	2 840	2	6	15



第4図 断面構造図
Fig. 4 Sectional drawing

冷却塔である。また大口径高効率送風機の採用により電力費の節約を図っている。上層部、下層部に分離した充填層ごとに散水機構を備え、それぞれ独立した機能を持たせている。最上部に設けた共通の送風機で通風して熱交換を行う。温水は冷却塔内部立ち上り管または、空気加熱器を通り上部ヘッダーに供給され上層、下層の温水分配槽に分配される。更に、分配槽から自然落下により充填層を通過し、共通送風機に誘因された外気と接触し、熱交換することにより冷却され冷水となる。熱交換をし、水滴を含んだ空気は、ドリフトエリミネーターで水滴を除去され、空気のみ排出される。一方上層の冷却水は上層冷水槽に集約され、降水管により下層冷水槽に集められる。下層冷水槽は省スペース化および経済運転を図るため常時連通管で連通して

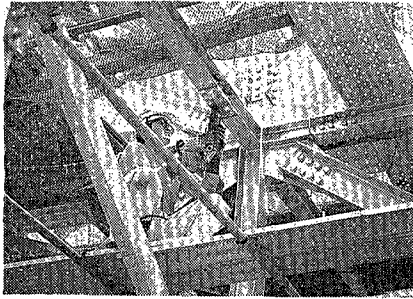


写真7
高力ボルト締めつけ

Photo. 7
High tensile bolts being tightened.

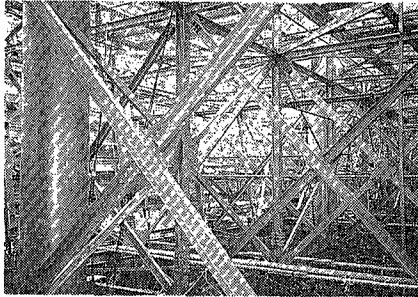


写真8
骨組ブレース構造

Photo. 8
Construction of framework braces.

おり、各塔の下層冷水槽の水位はほぼ均一化されている。第4図に重層式冷却塔の断面構造を、写真6に大口径高効率超低騒音送風機を示す。

3.3 設計諸元

第3表に冷却塔諸元を示す。

4 耐震

DHC向冷却塔の場合、耐震構造が要求される。一般的にはビルの屋上に設置されるため階数に関係なく設計用水平震度(KH)=1.0Gが要求される。極めて高い耐食性を要する冷却塔の構造材を考えた場合、その寿命は防錆方法にかかっているといても過言ではない。また、大規模になれば激震時の地震動による水槽水面の動揺(スロッシング)、地震時の変位置についても十分な検討が必要である。

4.1 構造材の接合部の防錆

冷却塔の構造材接合部には、一般的に溶融亜鉛めっき中ボルト接合と、溶融亜鉛めっき高力ボルト(F8T)接合がある。高力ボルト接合は、摩擦力によるもので応力伝達上は優れた接合方法であるが、摩擦接合面の防錆に極めて注意を要する。本冷却塔の接合部には高力ボルトを採用し、接合部の防錆についても十分な考慮をした。写真7に高力ボルト締めつけ作業、写真8に骨組ブレース構造を示す。

5 振動監視

冷却塔の長期にわたる安定運転を維持するために常時振動値の監視をすることが望ましい。本振動装置は動電型速度センサーを備え、減速機本体に取り付けられ、冷却塔屋上現場操作盤に組み込まれたモニターで常時振動監視ができるものである。また、モニターの外部端子からコントロールセンターに接続され、センターでの監視も可能である。モニター内には、起動・遅延タイマーが組み込まれているため、起動時の一時的な大きな振動や、外部からの一時的な振動はカットされ、運転に支障をきたすことはない。また、コンピュータとの接続で設備診断システムとしても利用できる。

6 連通管効果の検討

冷却塔を計画する上で、現在取り上げられている問題点の一つに冷水槽の水位の管理がある。複数台の冷却塔が設

第3表 冷却塔諸元

Table 3 Leading particulars of cooling tower

Items		Wet type cooling tower	Dry and wet type cooling tower
Circulating water flow		4230 m ³ /h×4 units	4230 m ³ /h×3 units
Temperature conditions	Inlet temp.	41 °C	41 °C
	Outlet temp.	32 °C	32 °C
Installing conditions	Wind load	120√h kg/m ²	
	Seismic load (Horizontal)	1.0 G	
Visible plume	Length of plume		20 m. max.
Noise conditions	Fan PWL.	105 dB(A)max.	105 dB(A)max.
Material of construction	Main frame	Hot dip galvanized copper	
	End wall casing, Louver	FRP	
	Fill	Hard vinyl chloride	
	Eliminator Fan stack	Hard vinyl chloride FRP	
Dimensions of each unit	Overall length	9 600 mm	10 950 mm
	Overall width	18 440 mm	18 440 mm
	Overall height	19 260 mm	18 260 mm
Operating weight		314 t	314 t
Fan	Type	Axial variable pitch blades	
	Diameter	8 535 mm	8 535 mm
	Number of units	4 units	3 units
Motor	Type	Outdoor totally-enclosed fan cooled motor	
	Rating	450/150 kW 4/6 P(One-hour rating 470/150)	
	Number of units	4 units	3 units
	Protective device	High speed search coil (Set temperature 140 °C)	
Speed reducer	Type with oil pump	Spiral bevel, helical three-speed	
	Number of units	4 units	3 units
Air heater	Type		L-shape winding fin
	Dry type dumper motor		0.2 kW - 2 sets
	Wet type dumper motor	None	0.75 kW - 2 sets
Vibration monitor	Type	Oscillating speed monitor Dynamic electricity speed sensor 7 sets	
	Hoist for maintenance	Lift 40 m, max, hoisting load 6.0 t For maintenance of fan	

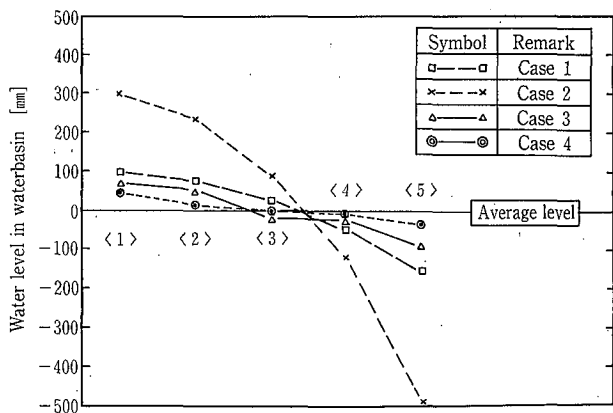
置される場合、各冷却塔の循環水量は冷却水ポンプの送水量と1対1の対応にならず、一つの配管系に組み込まれるので、各冷却塔に仕切りがあると冷水槽間に水位差が生じ、空気の吸い込み、オーバーフローなどの問題が発生する。この現象は、冷却塔の設置台数が多いほど顕著に現れ、運転に支障をきたすことになる。一般的には、

- (1) 水槽間の仕切りをなくする。
- (2) 水槽間に連通管を設ける。
- (3) 配管ルート、配管径をかえる。

などの方法で、各冷水槽と冷却水の配管抵抗値を等しくするといった対策が必要となる。この内冷水槽間の仕切りをなくす方法は、最も簡便ではあるが、定修時のことを考えれば各冷水槽は独立していることが望ましい。また配管系で吸い込み配管抵抗値を等しくすることは、現実には非常に難しい。そこで、連通管を設ける方式が増加してきた。

本冷却塔設備においては、冷却水系全体の運転制御について東京ガス株式会社において種々検討が行われ、最終的に連通管方式が採用された。

次に、連通管方式における検討経過の概要を述べる。



第5図 連通管効果の比較
Fig. 5 Comparison of effect of communicating tube.

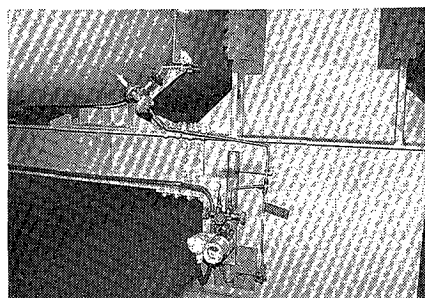


写真9
連通管に取り付けられた差圧計
Photo. 9
Differential pressure gauge connected to communicating tube.

6.1 冷塔水位制御の検討条件

- (1) 冷却塔設置台数 7
- (2) 冷却塔1台当たり循環水量4 230 m³/h
- (3) 冷却塔からの冷却水還主管は2系統
- (4) 水槽間の水位差が最大になるのは、冷却塔5台運転の時とする。(冷却水系統は2系列に分かれているので1系列当たり5台運転が最大となる)
- (5) 各冷却塔への流入水量と出口水量とは等しい。
- (6) 直管部分の圧力損失は、局部圧力損失に比べ小さいので管路の圧力損失要素として合流、分流による圧力損失および管路の入口、出口の圧力損失のみを考慮する。
- (7) 冷却塔出口管口径800 mm/セル
- (8) 最大循環水量21 350 m³/h
- (9) 検討パターン
 ケース1：還主管口径 2 000 mm, 連通管無し(管内最大流速1.90 m/s)
 ケース2：還主管口径 1 500 mm, 連通管無し(管内最大流速3.38 m/s)
 ケース3：還主管口径 1 500 mm, 連通管(口径1 000 mm)有り(管内最大流速3.38 m/s)
 ケース4：還主管口径 1 600 mm, 連通管(口径1 000 mm)有り(管内最大流速2.97 m/s)

6.2 検討結果

第5図に各検討パターンの比較結果を示す。ケース2とケース3を比較すると連通管効果によってケース3の方が水位差が少なくなっている。同じ連通管がある場合でも、ケース3とケース4ではケース4の方が水位差がすくなくなっている。この場合の水位差は110 mmと予測され、実用上さしつかえないと判断された。

7 補給水

冷却塔への補給水の水位は、従来FM弁、ボールタップなどで塔ごとにコントロールされていた。しかし、最近建

第4表 冷却塔運転台数と水位レベル

Table 4 Number of cooling towers in operation and water level

Refrigerator	4R	1R	2R	6R	7R	5R
Cooling water flow m ³ /h (Total)	3 177	6 250	6 250	4 385	4 385	2 530
Number of units	1	3	4	5	6	7
Water level mm	580	490	440	390	350	300

物のスペースの制約のため冷凍機容量と冷却塔容量とを1対1で配置することは配管の複雑化をまねき、設備費の増加をまねく。本設備では、これらの条件を配慮して冷却水配管系は共通ヘッダー方式が採用され、補給水についても冷却塔出口メインヘッダーに一括注入する方法が採用され、配管スペース・コストの低減が図られた。冷却塔各冷水槽のレベルの均一化を図るため、水槽下部には連通管を取り付けた。水位の管理は連通管に取り付けられた差圧計によって冷却塔運転台数に応じた水位にコントロールされる。写真9は連通管に取り付けられた差圧計を示す。

8 冷却塔運転台数と水位の管理

ヘッダー方式の場合、冷水槽運転水位の管理は運転上最も重要な項目である。冷水槽水位は冷却塔の運転台数(定格水量4 230 m³/h)が基本となっている。冷水槽水位は冷凍機用冷却水ポンプの運転に合わせて冷却塔の運転台数が自動的に決定される。第4表に冷却塔運転台数と水位レベルの関係を示す。

9 冷却塔用メンテナンス設備

冷却塔のメンテナンス設備は性能と同様極めて重要である。日常点検通路、特に都心部の場合定修時の揚重に問題が発生する。本設備ではこれらを解消するため、日常点検用として冷却塔専用エレベーターを設置し、また、定修時の機器の搬入、搬出のためのホイストを設置できるように配慮した。

むすび

今回東京ガス株式会社殿が建設された新宿新都心地域冷暖房センターに、当社の多くの納入実績の中でも最大規模の冷却塔を納入し、本稿でその内容についてご紹介する機会を得た。

都心はもとより、都市部に設置される冷却塔に与えられる種々の制約条件に、いかに応えられるかがメーカーの重要な使命であると考えている。とりわけ、限られた設置面積に設計条件を満足する冷却塔を納めねばならないのは地域冷暖房設備の基本条件と言える。

弊社は、省スペース化を目的として重層式冷却塔を開発しており、納入実績を重ねるとともに多くの引き合いを戴いている。

ますます高度化するお客様の要望に応えるため、省スペースはいうに及ばずより高性能の冷却塔の開発を目指し努力する所存である。

本稿を執筆するに当たり、プラントシステムについて多大のご教示をいただき、さらに何点かの資料を頂戴した東京ガス株式会社地域冷暖房センターの皆様へ深甚の謝意を表します。

【協力会社】

- 1) 東京ガス株式会社新宿地域冷暖房センター
- 2) 新菱冷熱工業株式会社

【参考文献】

- 1) 日本ガス協会都市ガス空調システム