

新建築会館における空調システムの稼働実態調査

櫻井 翰
(技術研究所)
竹林 芳久
(設計開発部)
川井 昌裕
(技術研究所)
矢花 吉治
(設備設計部)

§ 1. はじめに

新建築会館は昭和57年11月、日本建築学会の新しいセンターとして竣工した建物である。

当建物においては、熱回収型ヒートポンプパッケージを基本として、冷・暖房熱源に太陽熱を利用した特徴的な空調方式を採用している。年間にわたって良好な居住環境を維持することはもとより、事務所建築のエネルギー消費のなかでも50%余りを占めるとされる空調エネルギーに対しても十分配慮されたシステムとなっている。

システム決定の際には、幾つかの想定されるモデルについて当社開発のプログラム (SEES) によりシステム・シミュレーションを実施し、太陽熱利用量・回収熱量・燃料消費量等の詳細な稼働分析から各モデルの比較検討を行なっている。

しかし、シミュレーションではシステムをモデル化した多数の機器特性や物性諸値を扱うことから、常に現実との整合が問われる。やはり計画の妥当性を裏付けるためには、最終的に実績データが必要となる。

こうした観点から、当建物では長期間にわたって計測

データの収集を行なっている。今回は、収集データの中から昭和58年から59年にかけての暖房期と59年夏季冷房期について、エネルギー消費・太陽熱利用状況を中心とした分析を行なった。また、暖房期間についてはその間の気象データあるいは実際の建物使用条件等によって再度シミュレーションを実施し、実績値との比較検討を行なったので併せて結果を報告する。

§ 2. 建物と空調システム

その代表階の平面を図-1に示すように、建物はRC造地下1階・地上4階、延床面積8884㎡の規模を有しており、事務室、図書室、飲食店舗、会議室群から構成されている。

建物全体を熱負荷計算した結果によれば、図-2に示すように、冬季の1日の室内負荷変動は北ゾーンと南ゾーンとでは著しく異なる。また、内部発熱負荷の点からは事務室、図書室では比較的小さいが、店舗、会議室では大きくなることが予想される。空調システムは、こう



図-1 建物平面図

した建物負荷特性に対応して、(1)年間にわたる冷暖房が随時可能、(2)個別制御が可能、かつ(3)冷・暖房間の熱回収、(4)太陽熱利用ができることを基本方針として決定

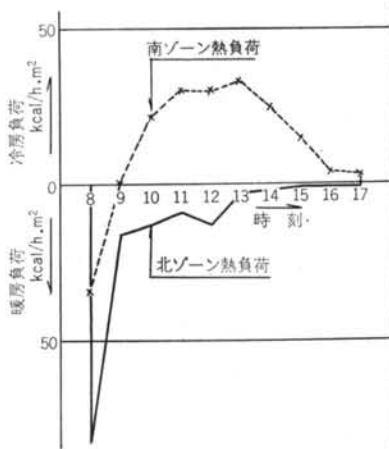


図-2 冬季時刻別熱負荷変動特性

された。システムの配管系統図を図-3に示すように、熱回収型ユニットリーヒートポンプパッケージの熱源水回路に高温蓄熱槽(ボイラー)・低温蓄熱槽(太陽熱集熱)・冷却塔を配置し、吸収冷凍機用冷却水システムを組み合わせた方式となっている。

回路(図のA)には年間を通して20~30℃の熱源水を提供し、2次側では各室の熱負荷に応じてユニットリーヒートポンプパッケージ(以下、UHPと略称)により、任意に冷房・暖房を行ない、夏季には回路冷却水により吸収冷凍機を運転して、外気予冷が行なえるようにしてある。

図-4は、熱源水回路廻りの冬季・夏季の稼働概念図を表わすが、回路全体が加熱側(暖房負荷>冷房負荷)にあるときは(冷房負荷側UHPからの)回収熱、太陽熱および補助ボイラーから熱供給し、反対に冷却側(冷房負荷>暖房負荷)にある場合は余剰熱を冷却塔から放熱する。また、夏季は常時冷却側として働くため、太

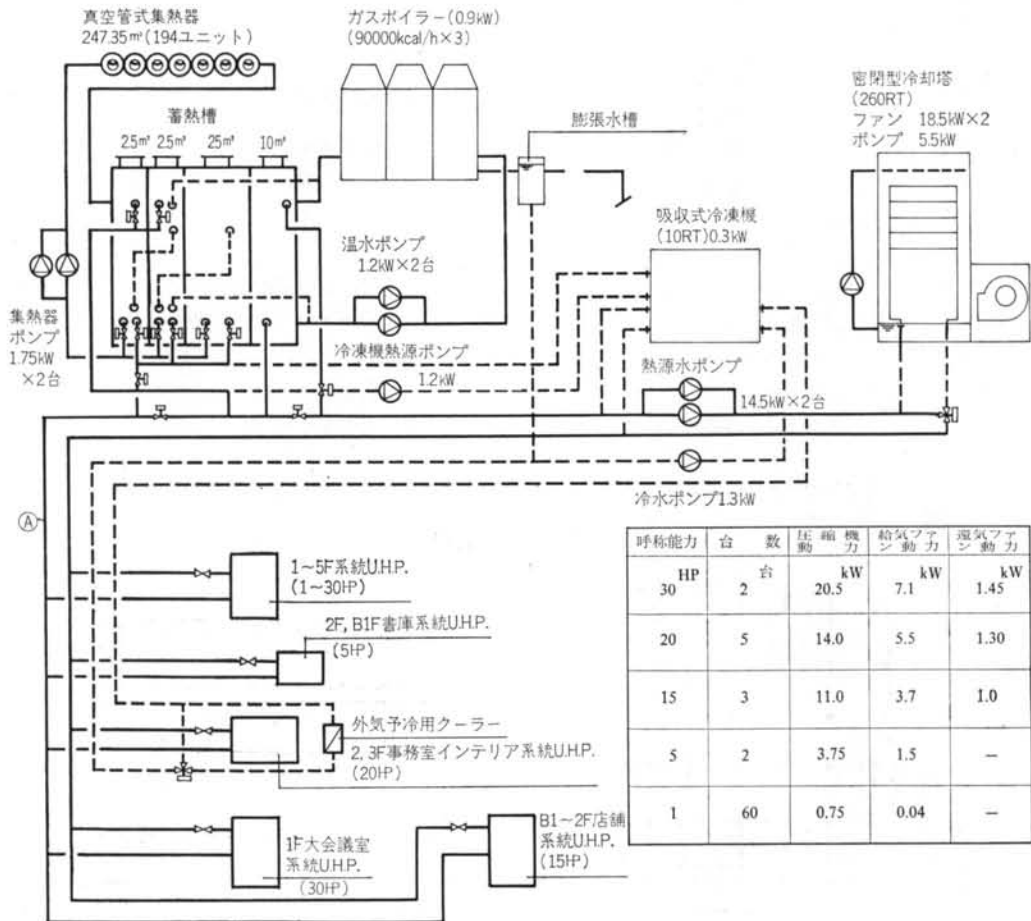
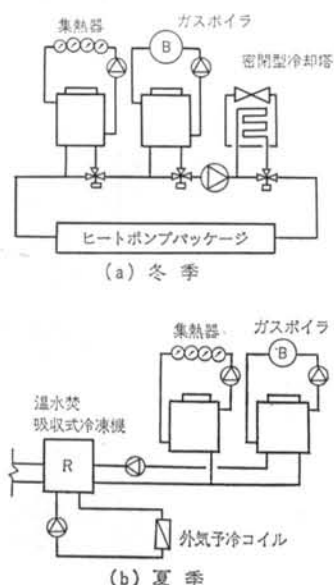


図-3 空調配管システム



図一4 蓄熱槽廻り稼働概念図

陽熱は熱源水路からは切り離し吸収冷凍機(10Rt)の熱源として用い(冷却水はUHP熱源水路を共用),2・3階用UHPの外気予冷を行なっている。

§ 3. データの収集内容と処理方法

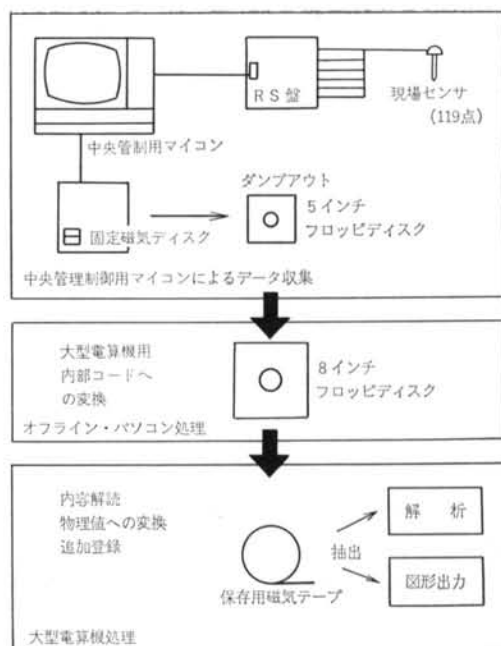
3.1 自動収集と処理システム

計測の目的は最終的には消費エネルギー量の把握にあるが、それと同時に太陽熱利用状況・UHPの機器の稼働実態や室内環境状態などについても併せて調査することを目指している。したがって、多様な情報を継続的かつ長期間収集することになり、データは大容量となる。このため、計測作業をできる限り自動化し、データ処理に関しても極力省力化を図ることが必要となる。

3.2 中央管制機能との併設

当建物では、空調を中心に設備機器の運転管理および制御を小型電算機(マイコン、以下MCと略す)を用いた中央集中方式で行なっているため、室内外環境・設備機器の稼働状態等の管理対象用の計測・検知情報が、常時オンラインでMCに集められる。

これを利用し、(1)データの計測時刻制御、(2)収集領域への格納、(3)収集領域から外部記録媒体への出力などの機能を持ち、しかも同一管理プログラム(OS)のもとでリアルタイムに実行可能なプログラムソフトを管制機能



図一5 データ収集と処理フロー

に併設すれば、それらの計測値はもとより管制情報についても容易に自動収集できる。

3.3 収集時間間隔

一部、積分型のセンサ(パルスカウンタ)によるものもあるが、大半の期間値については、温度・流量等の瞬時値からデータ収集後に積分処理をして求めるため、収集時間間隔はできるだけ小さくし、定時間間隔とする必要がある。

しかし、データ収集と管制機能プログラムを併設するためCPU負荷が増加し、両者のプログラム実行時刻に遅れが生ずる。一方、データ収集に対し管制機能の実行を優先させる必要がある。このため、収集時間の最少間隔は5分とし、また収集時刻の方は現地にて試行錯誤を繰り返しながら、収集プログラムの起動形態・時刻を最適化する方法を見出し、ほぼ安定させることができた。

3.4 収集と処理の流れ

計測し、いったんMC内領域へ格納されたデータはフロッピーディスクを介して出力し、さらに大型電算機処理が行なえるようにした。図一5に一連の機能と処理の流れを示す。

3.5 評価事項と計測項目

計測センサの大半は管制用のものを共用しているが、

		計測項目	検出端	収集 点数
環	屋 内	温度	Cu測温抵抗体	13
		湿度	LiCr 検出器	10
境	屋 外	温度	Cu測温抵抗体	1
		湿度	LiCr 検出器	1
		水平面全天日射量	ネオ日射計	1
空	冷凍機	流量	電磁流量計	3
		水温	Cu測温抵抗体	4
		発停状態	リレー補助接点	2
	ボイラー	都市ガス量	積算器	1
		流量	電磁流量計	1
		水温	Cu測温抵抗体	2
		発停状態	リレー補助接点	1
	大型パッケージ	ダンパー開度		7
		発停状態	リレー補助接点	11
	小型パッケージ	発停状態	リレー補助接点	29
	ポンプ	発停状態	リレー補助接点	9
	調	熱源水回路	流量	電磁流量計
水温			Cu測温抵抗体	4
太陽熱集熱回路		流量 水温	電磁流量計 Cu測温抵抗体	1 2
蓄熱槽	水温	Cu測温抵抗体	12	
そ の 他	電力量	積算器	1	
	水道使用量	積算器	2	

表一 計測センサの種類と点数

一部は今回の調査専用を設置し、MCに接続した。自動データ収集の対象となった計測項目は合計119点であるが、実計測時刻も併せて収集した。表一にセンサの種類と点数を、表二には主な評価・解析事項と対応する計測項目の関係を示す。

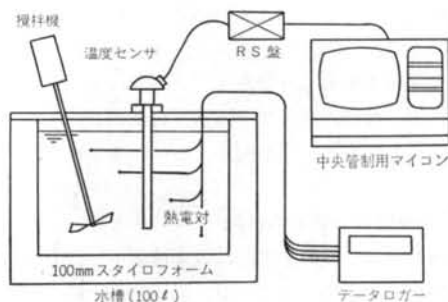
一方、熱源水回路における熱回収の状況を調べるために、自動収集の対象とは別に熱電対を設置した(後述)。

3.6 測温センサの較正

太陽熱を始めとする配管系の熱収支は、配管内往復2点間の水温差と流量をもとに求めるため、特に温度については高精度が要求される。しかし、当計測では管制用のセンサを共用しているためセンサ間のばらつきが予想され、計測値をそのまま用いて熱量収支計算を行なえば、大きな誤差となって現れる。このため、図一六に示すような装置により、現地においてセンサの較正のための測定を行なった。発泡スチロールで周囲を覆った水槽に湯あるいは水を入れて、攪拌することによって測定領域の5℃から95℃の槽内一様の安定した水温を作る。その中の基準水温測定用の熱電対(4点)と較正対象の温度センサを入れ、それぞれの値を同時に記録する。熱電

		評価事項	計測項目
太陽熱利用状況	日射量 集熱量	集熱器集熱効率 (日射量, 集熱量から求める)	水平面全天日射量 集熱器循環水量 集熱器入口水温 集熱器出口水温
			熱源水回路循環流量 熱源水回路還水温度 低温蓄熱槽出口水温
	太陽熱利用熱量(暖房時)	低温蓄熱槽内水温分布 (暖房時)	蓄熱槽水温
	太陽熱利用熱量(冷房時)	低温蓄熱槽内水温分布 (冷房時)	蓄熱槽水温
	低温蓄熱槽内水温分布 (暖房時)	低温蓄熱槽内水温分布 (冷房時)	蓄熱槽水温
	低温蓄熱槽内水温分布 (冷房時)	低温蓄熱槽内水温分布 (冷房時)	蓄熱槽水温
ボイラー関連	燃料(ガス)消費熱量	ガス消費量	
	温熱製造熱量	温熱製造熱量から求める	温水流量 温水入口水温 温水出口水温
	ボイラー効率(ガス消費熱量, 温熱製造熱量から求める)	ボイラー効率(ガス消費熱量, 温熱製造熱量から求める)	
	高温蓄熱槽内水温分布	高温蓄熱槽内水温分布	蓄熱槽水温
吸収冷凍機関連	入力熱量	吸収冷凍機入力熱量から求める	冷凍機熱源温水流量 冷凍機熱源温水入口水温 冷凍機熱源温水出口水温
	冷熱製造熱量	冷熱製造熱量から求める	冷水流量 冷水入口水温 冷水出口水温
	COP(入力熱量, 冷熱製造熱量から求める)	COP(入力熱量, 冷熱製造熱量から求める)	
熱源水回路関連	回路取得・加熱熱量	熱源水回路取得・加熱熱量から求める	熱源水回路循環流量 熱源水回路往水温度 熱源水回路還水温度

表二 評価事項と主な計測項目



図一六 計測センサ較正用基準温度測定装置

対4点の平均値をもって基準水温とし、対する指示値とから図一七に示すような較正曲線を作成してデータ処理を行なっている。

§ 4. 暖房期の結果

昭和58年11月1日から59年3月31日の暖房期間の結果について述べる。配管系の期間収支熱量は、図-8に示すように水温、流量等計測値から求められる隣合う2時点の瞬時値に囲まれる台形あるいは三角形の面積を集計して求めている。

また、当期間については収集データに東京管区気象台発表の地上気象観測日原簿データを加えて作成した気象データと、表-3に示すように現地の室内使用状況調査結果から得た室内使用条件を再入力し、計画時のプログラム (SEES) を用いて再度シミュレーションを行なった。以下では、再シミュレーション結果 (以下、再解析値と呼ぶ) についても、実測結果との比較のため併せて述べる。

4.1 太陽熱利用

対象期間においては、太陽熱は UHP の温熱用補助熱源の一つとして利用されている。期間中の太陽熱の利用状況を示す一例として2月1日から6日を選び、低温蓄熱槽内水温ならびに集熱器廻り (図-9) の計測結果に

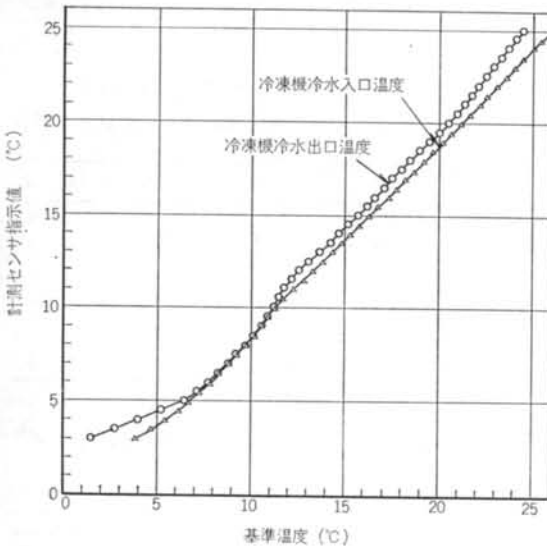


図-7 計測センサ校正曲線 (冷凍機冷水温度)

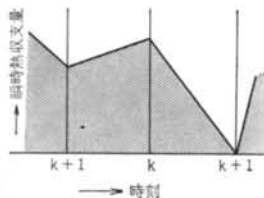


図-8 期間積分値の求め方

ついて図-10に示す。図からは、凍結防止のため夜間にも循環ポンプが作動していること、昼間にはポンプの起動・停止が頻繁に行なわれており2次測の使用開始とともに蓄熱槽の温度は急激に低下すること、また休日には比較的高い温度上昇が見られ40°Cにも達することがあること等が読み取れる。

次に、集熱器に対する日射総受熱量および集熱量の月間値について、実測値と再解析値とを併せて図-11に示す。対象全期間について見れば、集熱量の実測値は39.3 Gcal となっており、シミュレーション結果37.0 Gcal に対して実測値の方が約6%程度大きな値である。これは図-12のように、シミュレーションで用いた集熱器の集熱効率曲線に実測値から得た効率をプロットしてみると分かるごとく、シミュレーションで用いたよりも実際の集熱効率の方が幾分高い値となることを示している。

4.2 ボイラーの稼動状況

ボイラーはガス炊きで、高温蓄熱槽を介して太陽熱と同様に UHP の温熱用熱源に利用されている。

	事務室	店舗
運転時間	月～金 8～18時 土 8～12時 日・祭 休止	月～金 10～20時 土 10～23時 日・祭 10～23時
室内設定温度 (冬期)	20°C 50%	20°C 50%
人員密度	平均 0.08人/㎡	平均 0.3人/㎡
照明発熱	平均 18W/㎡	平均 40W/㎡
気象データ	実測値および気象観測日原簿	

表-3 再生データによるシミュレーションのための室内条件

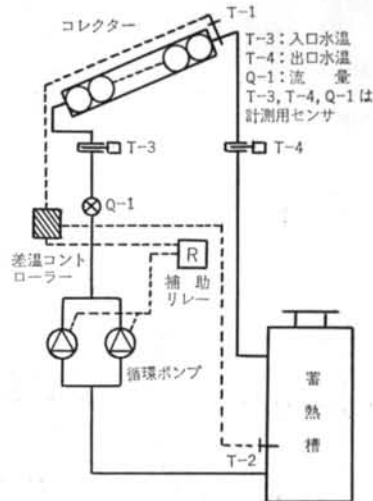


図-9 太陽熱集熱器廻りのセンサ配置図

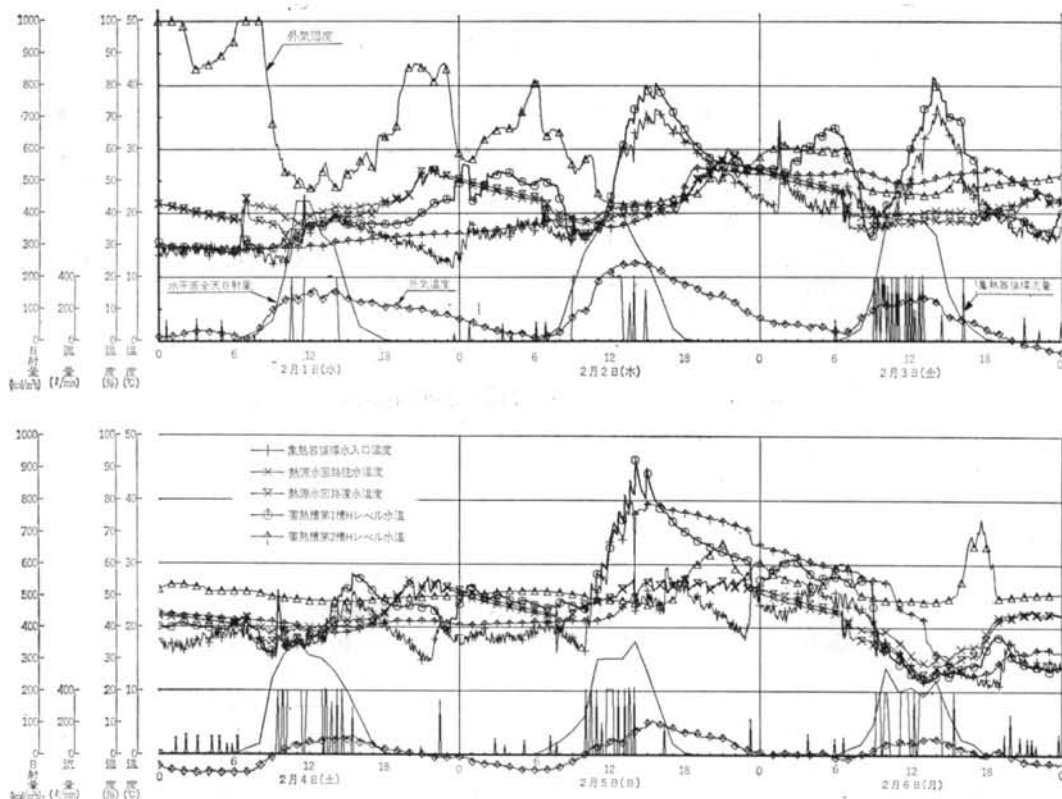


図-10 太陽熱集熱関係の稼動状況(冬季)

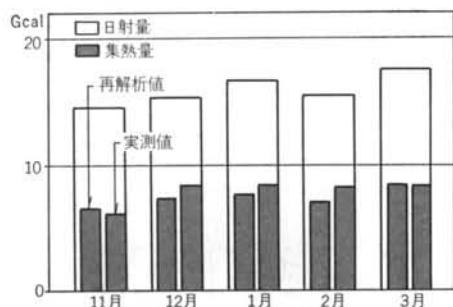


図-11 日射量と集熱量(実測値と再解析値)

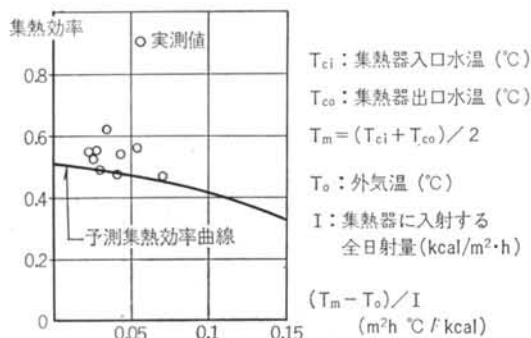


図-12 集熱器集熱特性(冬季)

ガス消費量からの換算入力熱量・製造熱量・効率(COP)ならびに製造熱量のうち、熱源水回路へ供給された熱量

月	入力値	出力値	効 率	利 用 量
11	8.7	6.4	0.74	0.8
12	48.8	35.3	0.72	35.8
1	97.6	69.0	0.71	65.9
2	108.3	74.9	0.69	63.8
3	83.9	58.7	0.70	50.3
合計	347.3	244.3	0.70	216.6

(単位: Gcal)

表-4 ボイラー関連熱収支各期間値(昭和58年11月から59年3月, 実測値)

月	入力値	出力値	効 率	利 用 量
11	3.6	2.8	0.77	2.3
12	58.6	42.8	0.73	42.5
1	82.2	61.5	0.75	61.1
2	85.5	64.2	0.75	63.7
3	64.3	47.7	0.74	47.7
合計	294.2	219.0	0.74	217.3

(単位: Gcal)

表-5 ボイラー関連熱収支各期間値(再解析値)

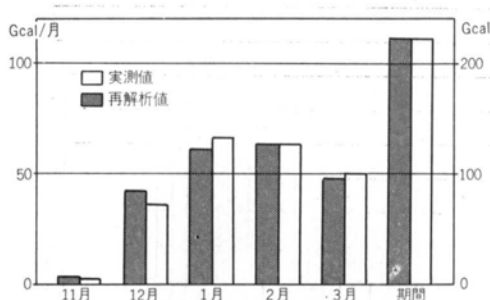


図-13 ボイラーからの供給熱量（実測値と再解析値）

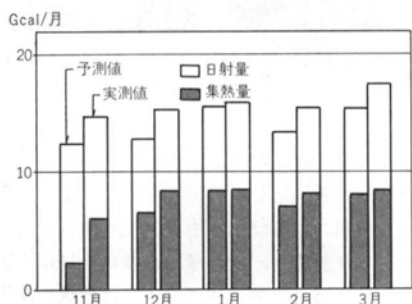


図-14 日射量と集熱量（予測値と実測値）

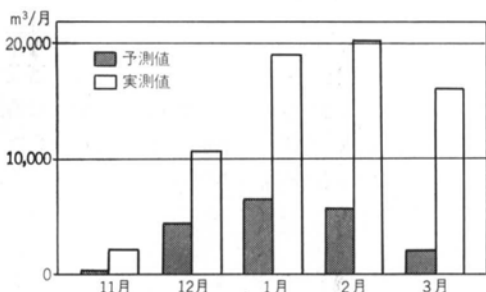


図-15 ボイラーガス消費量（予測値と実測値）

の各月間値について、実測値と再解析値をそれぞれ表-4、表-5に示す。また、ボイラーからの供給熱量を図-13に示す。実測値からは、対象全期間のボイラー製造熱量は期間合計で244.3Gcal、ガス消費熱量は347.3Gcalであり、期間内平均 COPは約0.7となった。

また、高蓄熱槽から熱源水回路へ供給された熱量は216.6Gcalであり製造熱量との差27Gcalが見られるが、これは計測誤差ならびに高温蓄熱槽・配管部からの熱損失等によるものと思われる。

一方、再解析値の結果では期間合計でボイラー製造熱量は219.0Gcal、ガス消費熱量は294.2Gcalとなっており、ボイラー平均効率は0.74となる。

また、利用熱量（熱源水回路へ供給された熱量）は217.3Gcalであり、この値は実測値とほぼ等しい値となっているが、製造熱量・回路へ供給された熱量について

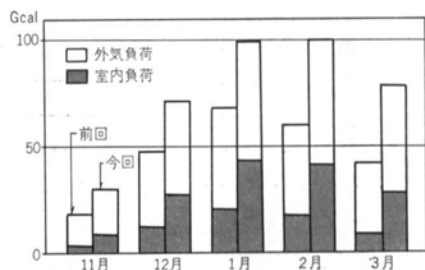


図-16 月別暖房負荷（予測値と再解析値）

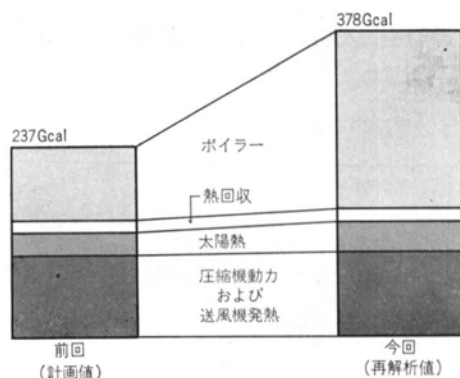


図-17 暖房負荷負担内訳（予測値と再解析値）

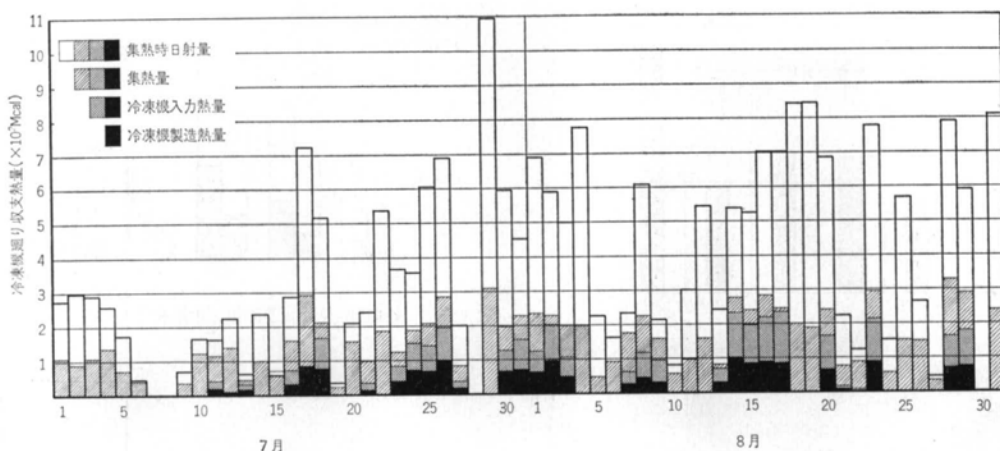
は再解析値とは大きな差を示している。これは、今回の再シミュレーションにおいて蓄熱槽や配管部からの熱損失を考慮していなかったこと、用いたボイラー効率が現実のものに対し低かったことによるものと思われる。

4.3 ガス消費量に対する予測値とのずれ

システムの計画時には、標準年気象データ等によるシミュレーションから予測結果（以下、予測値と呼ぶ）を求めている。

実測値を予測値と比べて見ると、図-14に見られるように太陽熱についてはほぼ等しい傾向であるにもかかわらず、ガス消費量については図-15に見られるごとく予測値が期間合計18,812m³であるのに対して、実測値の方は69,460m³となっており、大幅に異なる。これは、室内の使用時間帯が増えたり内部発熱密度が下廻りなど、予測値を求める際に仮定した室内使用条件と実際のものが異なったこと、また59年1月から3月までの外気温度が標準年に比べ大幅に低かったことが作用して、図-16に示すように暖房負荷（室内+外気負荷）が計画時に比べ大幅に増大したためである。

これらの暖房負荷を賄うために機器システム側から供給される熱量の内訳を見ると、図-17に示すように太陽熱集熱・ボイラー製造熱による各供給熱量、冷房側UHP



図一18 冷凍機関連収支熱量の日変化

月	集熱時日射量 (Mcal)	集熱量 (Mcal)	冷凍機入力熱量 (Mcal)	冷凍機製造熱量 (Mcal)	COP
7	9,217	3,934	1,457	671	0.46
8	14,344	5,333	2,403	991	0.41
合計	23,561	9,267	3,860	1,662	0.43

表一6 冷凍機関連熱収支各期間値 (昭和59年)

からの回収熱，ならびに暖房側 UHP の圧縮機・送風機からの取得熱から成り立っている。図は今回の再解析値を予測値と比較したものであるが，両者の太陽熱集熱，回収熱，送風機からの取得熱はほとんど変わっていないこと，また圧縮機の動力は増えるとしてもほぼ熱負荷増に比例することから，それらを除いたボイラーからの供給熱量が計画時に比べて，再解析値の熱負荷が増大した割合以上に増えることが分かる。

§ 5. 冷房期の結果

昭和59年7月1日～8月31日の冷房期間の結果について述べる。

5.1 熱源水回路からの放熱量

UHP はすべて冷房側に働いており，熱源水回路での取得熱量として冷却塔から放熱されている。2カ月間の計画値329.1Gcalに対して，回路の循環流量，往・還管水温計測値から求めた冷却熱量の集計値は430.5Gcalであった。

5.2 太陽熱による冷凍機運転

夏季においては，太陽熱は外気予冷用の吸収冷凍機の

熱源として利用されており，対象期間中の冷凍機は高温蓄熱槽の水温状態に応じて設備管理者により手動で運転された。この間の太陽熱の利用状況を示す代表例として8月1日～6日を選び，蓄熱槽内水温ならびに冷凍機廻りの計測結果について図一19に示す。蓄熱槽の温度は90℃以上になることがあるが，冷凍機の運転開始とともに蓄熱槽の温度は急激に低下することが分かる。

また，冷凍機関連熱収支量の日変化ならびに期間値の集計結果をそれぞれ図一18，表一6に示す。集熱器効率の期間平均値は0.42であり，吸収冷凍機については冷熱製造量が1.7Gcal，COPの期間平均値は0.43，また日平均としての最大値は8月3日の0.55が示されている。

§ 6. 熱源水回路における熱回収

4階に設置されている17台のUHP（呼称能力1HP）について，昭和58年11月11日から12月5日にわたって各個の冷・暖房状態や回収熱量の実測調査を行なった。

6.1 調査方法

回路各部の配管には図一20に示すような方法でC-C熱電対を設置し，配管表面温度をサーモダックで記録した。熱電対の設置個所を図一21に示す。

回路内水温は室温に近いので伝熱損失が少なく，かつリバースレタン方式であることから，各UHPの入口水温はほぼ同一温度を示すものと予想されたが，念のため図中番号⑬，⑭，⑯の3個所を測定した。

6.2 UHP出・入口水温

図一22は入口水温を見るための上記⑬，⑭，⑯につい

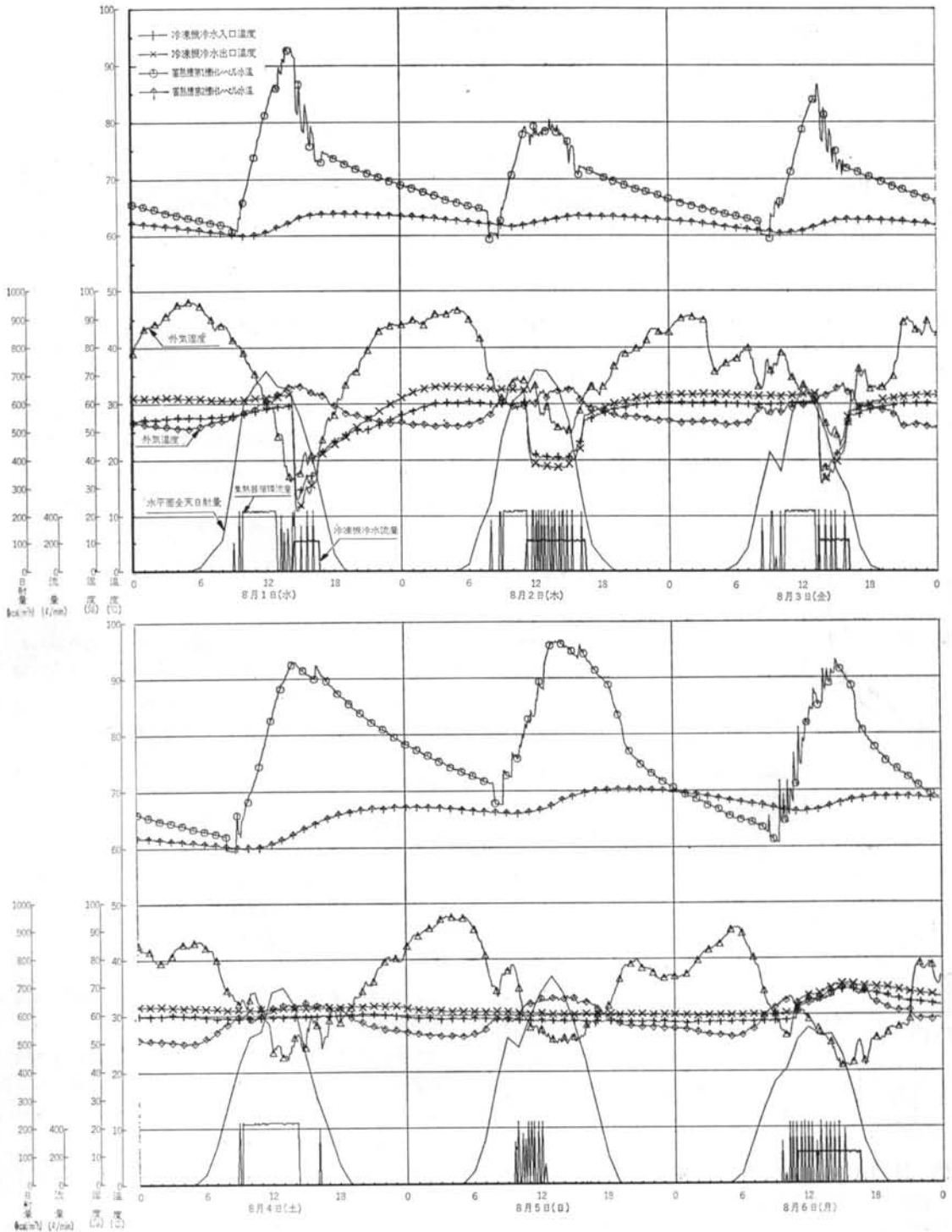


図-19 太陽熱集熱関連の稼動状況(夏季)

ての11月22日の結果であるが、3点間に顕著な差は見られないため、3点の平均をもって各 UHP の入口水温と

した。

熱回収が見られる代表的な例として11月22日を選び図

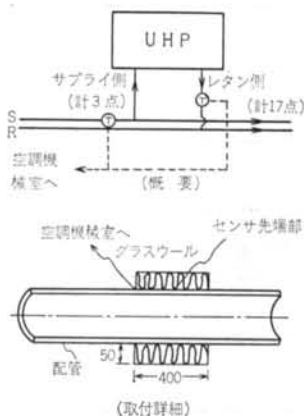


図-20 熱回収測定用熱電対の設置方法

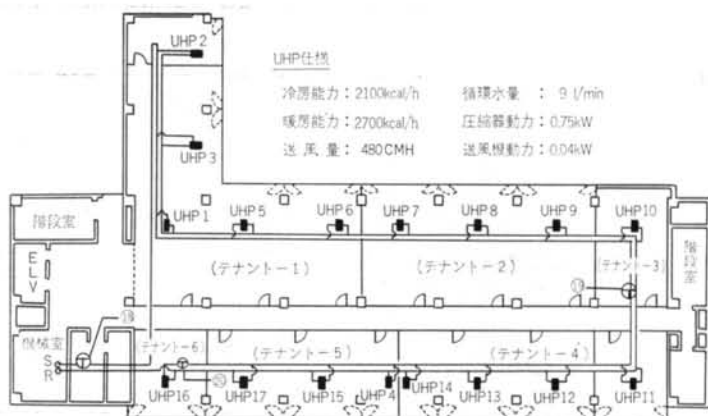


図-21 4階UHP系統熱源水配管図

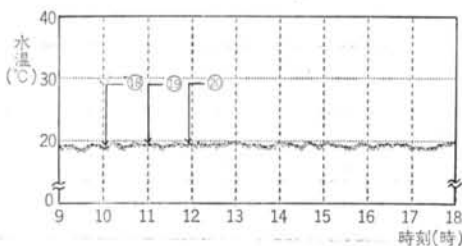


図-22 入口水温特性

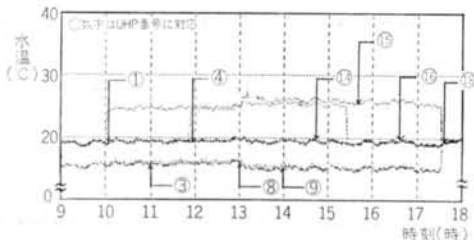


図-23 出口水温特性

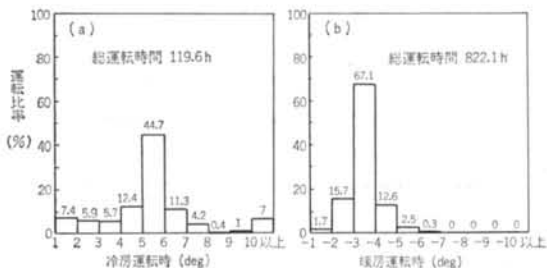


図-24 UHP出・入口水温差別出現率

図-23に示す。図は各UHPの出口水温を示しているが、UHP-15, 16のごとく出口水温が入口水温より上昇しており冷房側に働いていることが分かる。

反対に、UHP-3, 8, 9では出口水温が低く暖房側となっており、当日は熱回収運転が行なわれたことを示し

ている。

出・入口温度差毎に全測定期間を集計した冷房および暖房運転時間の頻度分布を図-24に示す。冷房時には5~6℃、暖房時では3~4℃での運転時間が最も多く、設計時の水温差に対する要求性能をほぼ満足しているといえる。

6.3 回収熱量

各UHPでは、室内負荷に圧縮機・ファン動力からの取得熱を加えた加熱熱量(q_n)を回路へ排熱して冷房運転を、室内負荷から圧縮機・ファン動力を差し引いた冷却熱量(q_c)を回路から給熱して暖房運転をしている。

回路における回収熱は、その時点における q_n , q_c の回路全体での各合計, Sq_n , Sq_c の大小関係によって決り、前者が大なれば Sq_c が、後者が大なれば Sq_n が回収熱量となる。

各テナントの室使用状況が異なるため、測定期間のうち、平日の9時~17時に限定し、 Sq_n および Sq_c を時間積分して求めた期間冷却・加熱熱量の結果を表-7に示す。

ここで、 q_n , q_c は前記入口水温と各UHPの出口水温差に流量を掛けて求められる。表からは南ゾーンでは冷房負荷が、北ゾーンでは暖房負荷が多くみられ、計画時の南北ゾーンでの熱負荷特性が異なるとした予測を良く裏付けている。また、図-25にはこの期間の冷却・加熱熱量と回収熱量日推定値の変化を併せて示す。

期間合計値で見ると冷却熱量は346Mcal、加熱熱量は1,478Mcal、また回収熱量は320Mcalとなっており、回収熱量は冷却熱量の約93%に相当することから、室内冷房負荷のほとんどが回路内において回収されたことを示している。

ちなみに、この全期間回収熱量を4階の延床面積・回

取運転時間で除した値は 3.1kcal/hm² となるが、計画値の建物全体に対する同様の値は 2.4 kcal/hm² であり、近似している。

テナント 名称	面積 (m ²)	UHP 番号	期間冷却熱量		冷却熱量 (kcal/m ² h)	期間加熱量		加熱量 (kcal/m ² h)	方位
			(kcal/期間)	計		(kcal/期間)	計		
テナント-1	261.8	1	326			-145,028		-16.5	北
		2	0			-163,008			
		3	42	572	0.02	-181,254	-586,285		
		5	204			-71,508			
		6	0			-25,487			
テナント-2	167.4	7	269			-212,652		-26.3	
		8	427	960	0.04	-266,173	-597,699		
		9	264			-118,874			
テナント-3	89.0	10	63			-110,872		-11.4	
		11	5,574	5,637	0.47	-28,037	-138,909		
テナント-4	121.9	12	207			-14,435		-1.9	
		13	6,616	44,647	2.7	-16,233	-31,385		
		14	37,824			-717			
テナント-5	81.7	4	21,280			-21,442		-9.3	南
		15	215,522	237,567	21.4	-14,881	-103,476		
		17	765			-67,153			
テナント-6	36.9	16	56,875	56,875	11.3	-20,394	-20,394	-4.1	
全体	758.7	—	—	333,216	3.23	—	-1,478,148	-14.3	

表一7 4階テナント別加熱・冷却熱量期間集計値

§ 7. まとめ

暖・冷房最盛時の実績データをもつて、当初の設備計画の幾つかの事項について裏付けることができた。

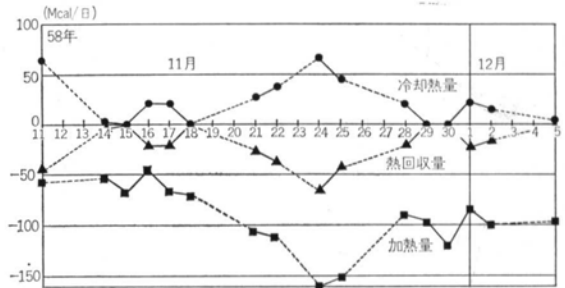
また、暖房期に限っていえば当建物で使用したシミュレーションプログラム(SEES)は機器の特性や熱損失の取り扱い等については未だ再考の余地があるものの、こうした複雑なシステムに対しても十分な解析精度を備えているといえる。

§ 8. おわりに

今回は敢えて省略したが、プログラムの構造や計画時ならびに再現データによるシミュレーション結果の詳細についても機会を得て発表したい。

なお、当計測は日本建築学会・会館設備システム計測部会のもとで行なわれたことを付け加えておく。

最後に、ご指導頂いた東京都立大学伊藤直明教授、計測に当たりご理解と協力を賜った学会事務局の郡氏ならびに関係諸氏には心から謝意を表したい。



図一25 4階部分回収熱量の日推定値変化

<参考文献>

- 1) 櫻井・竹林・川井他：“新「建築会館」におけるエネルギー消費（第1～4報）” 日本建築学会大会学術講演梗概集（昭和57年10月～昭和59年10月）
- 2) 竹林他：“ビル管理用マイコンを利用したエネルギーデータ収集・処理システム（新「建築会館」における実施例）” 同上（昭和58年10月）
- 3) 櫻井他：“空調システム・シミュレーションプログラムの開発（第1～7報）” 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集（昭和56年59年）
- 4) 竹林他：“空調システム・シミュレーションプログラムの開発” 建築環境工学における電算機利用に関する第4回国際シンポジウム論文梗概集（昭和57年4月）
- 5) 竹林・櫻井：“熱回収型ヒートポンプパッケージシステムの実測と再シミュレーション解析” 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集（昭和59年10月）

