

■ 技術報告 ■

最近の事務所ビル集中冷暖房システムの熱需給実態

Energy Usage and CO₂ Emission in Central Cooling and Heating System in Office Building

嵐 紀夫*・稲葉 敦**

Norio Arashi Atsushi Inaba

(原稿受付日 1999年10月25日, 受理日 2000年4月14日)

1. はじめに

平成9年12月に京都において開催された地球温暖化防止条約締約国会議(COP-3)において我が国は西暦2010年には地球温暖化ガスの排出量を1990年比で6%削減することを目標として議定書に盛り込んでいる。その達成のためには、当面省エネルギーが重要である。

我が国のエネルギー需給推移及び見通し³⁾によれば、産業部門のエネルギー消費は減少しているのに対し、民生部門では、1992年に比べても2010年にはおよそ5ポイント増加し、全エネルギー消費量の30%に達することが見込まれている。従って、この部門における省エネルギーが重要である。

そのような状況の中で、本報告では、最近の業務用ビルについてのエネルギー需給の実態を明らかにすることを目的としたものである。業務用ビルのエネルギー消費実態に関する報告はこれまでもなされている^{1),2)}が、ごく最近の業務用ビルに関するエネルギー需給実態についての報告は少ない。そこで、実在の事務所ビルについて平成9~10年の間のエネルギー需給データを調査した。本報告は、ビル内で使用するOA機器と照明の数及びこれらの消費電力、ビルの冷暖房需要、及び需用に対応した冷暖房機器のガス・電力消費量、運転時間を調査し、これよりエネルギー需給実態を明らかにしたものである。

2. 対象とする事務所ビルの概要

本研究で対象とした事務所ビルは、京浜地区にある情報通信関連の事務所ビルであり、地下1階、地上7

階建て、建物平面は東西方向58m、南北方向83mの形状であり、冷暖房の対象となる延べ床面積は中庭部を除いた地上7階分およそ28,000m²である。また、壁面に対する窓面の占める割合はおよそ45%、壁体はコンクリートと樹脂発泡板の積層構造である。表1に、このビル内で使用されている機器及び照明用の使用電力及び1日の使用時間を示す。これらを表中に示す時間運転すると、年間およそ3,600MWhの電力を消費する。また、それに伴って発生する発熱量を文献値⁴⁾の原単位を用いて概算すると、250Gcal/月となる。従って、夏季にはこの熱を取り去るのに十分な冷熱の供給が必要であり、冬季には暖房用熱の供給源の一部となる。

このビルの冷温熱需要を満たすための冷暖房用熱源装置を表2に示す。熱源機器は、冷温熱発生用のガス直焚き吸収式冷温水機(容量450 USRT 2台)、ターボ冷凍機(250 USRT 1台)及び冷熱発生専用チラーユニット(100 USRT 1台)、並びに加湿用蒸気発生ボイラ、冷媒冷却用の冷却塔より構成される。これらの熱源機器から配管によってビルの各階、各部屋へ冷水あるいは温水が供給される。冷水及び温水から冷気

表1 ビル内使用機器

品名	台数	使用電力 kW	使用時間 h/日
パソコン	1,500	450	10
ミニコン類	300	360	10
複写機	70	70	4
照明	6500	520	10

表2 熱源機器

種類	能力	台数
ガス直焚き吸収冷温水機	450 USRT	2
ターボ冷凍機	250 USRT	1
チラーユニット	100 USRT	1
蒸気ボイラ	660 kg/h	2
冷却器	78,000 kcal/h	2

* (株)日立製作所 電力・電機開発研究所主任研究員

〒319-1221 日立市大みか町7-2-1

** 工業技術院資源環境技術総合研究所 企画室室長

〒305-8569 つくば市小野川16-3

表3 空調ユニット

機器種類	台数	合計容量kW
エアハンドリングユニット	28	290
ファンコイルユニット	617	30
還流ファン	28	180

及び暖気を取り出すために表3に示す空調ユニットが設置される。

3. エネルギー収支

3.1 冷暖房

(1) 熱需要特性

ビル全体の冷温熱の需要を、熱源機器からビルの空調ユニットへ送出される冷温水の往ヘッダ出口水温とユニットからの還ヘッダ入口水温との差に、冷温水流量を乗じることにより算出した。図1に、夏季(8月)及び冬季(2月)の一日における時間帯別熱需要を示した。夏季は、始業1時間前より最大の冷熱需要が発生し、その後、午前中から午後にかけてほぼ一定の熱需要で推移し、定時以降午後8時頃まで徐々に低下す

る。一方、冬季は、始業1時間前から2時間、及び夕方方に2時間の暖房需要がある。一日間の熱需要を比較すると、温熱は冷熱に比べてはるかに小さい。図2に、このビルの熱需要の算定に用いた代表的な冷水温度、温水温度測定値の一月ごとの平均値を示す。冷房時における冷水の往ヘッダ出口温度は9.4~13.1℃、戻り水のヘッダ入口温度は12.8~15.5℃であり、往還の温度差は7月の最大3.7℃から3月の最小2.4℃の範囲にある。また、暖房時における温水の往ヘッダ出口温度は45.6~40.4℃、戻り水のヘッダ入口温度は42.8~38.0℃であり、往還の温度差は最大2.8℃から最小2.4℃の範囲であった。冷房では、冷水の往還温度差は5℃程度が普通であるが、これに比べてこのビルでは温度差が小さいことがわかる。図3は、このビルにおける冷房及び暖房の月別運転時間を示したものである。冷房運転は7~11月及び4~6月の期間にわたり、特に6~10月は315から350時間/月に達する。一方、暖房では、12~3月の期間、朝、夕の1~2時間のみ運転がなされ、運転時間はおおよそ80時間/月程度である。図2の往還水温度差、そのときの冷温水量及び図3の

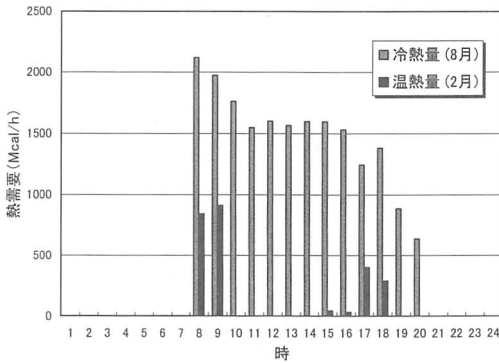


図1 冷温熱需要量の時間変化

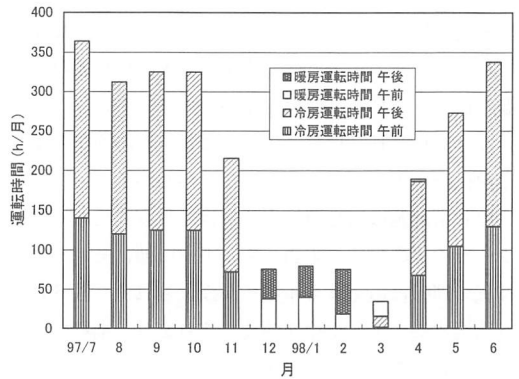


図3 冷温水供給時間

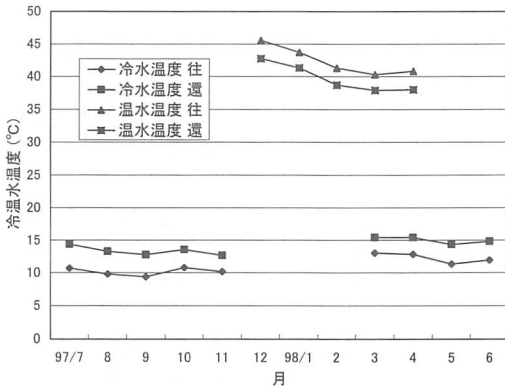


図2 冷温水往還温度

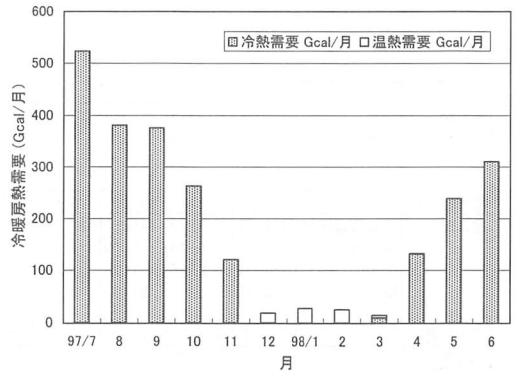


図4 冷暖房熱需要の月変化

運転時間より月別の冷温熱需要が求まる。図4にこのようにして求めた月別の冷温熱平均需要量を示す。調査したビルでは、冷房熱需用が圧倒的に多い。冷房熱需要は3月より始まり、7月にピークを示し、最大冷熱需要量は、およそ525Gcal/月に達する。前述のように、OA機器類・照明からの発熱量は250Gcal/月であるからその差は、建物壁面からの熱貫流、窓からの日射入射、人体からの発熱等によるものと考えられる。年間の冷熱需要量合計はおよそ2,370Gcalである。これを、ビルの延べ床面積当たりで表すとおよそ84Mcal/m²年となる。一方、暖房熱需要は12月から始まり翌年3月まで4ヶ月の間続いており、年間の暖房熱需要は80Gcalである。これをビルの延べ床面積当たりで表すとおよそ、2.9Mcal/m²・年となる。

(2) 熱供給特性

次に、上述の冷温熱需要に対する供給について考察する。まずはじめに、冷暖房用の熱源機器についてそのエネルギー投入量をみる。図5に吸収式冷温水機及びターボ冷凍機駆動用の月別エネルギー投入量を示す。ここで、吸収式冷温水機の投入エネルギーは直焚き用の都市ガスの使用量より求め、ターボ冷凍機のそれは駆動電力量を熱量単位(1kWh=860kcal)に換算して求めた。このビルでは、冷暖房は大部分が吸収式冷温水機でまかなわれ、冷房需要の大きい6,7,8,9月及び、特定月(11月,4月)にターボ冷凍機による冷熱供給が大きくなっていることがわかる。

冷暖房熱源機器を運転するには、吸収式冷温水機、ターボ冷凍機本体の駆動エネルギーの他にそれぞれの補機の運転に電気エネルギーが投入される。図6に吸収冷温水機、ターボ冷凍機及びそれぞれの補機類での電力消費量を示す。冷温水機及びターボ冷凍機の電力は、冷温水機本体に付属するガス燃焼機用ファン、吸収液循環ポンプ及びターボ冷凍機の圧縮機消費電力で

ある。補機とは、製造した冷温水を熱源機器から空調ユニットへ移送するための冷温水ポンプ、冷却水を冷却塔へ移送するための冷却水ポンプ、冷却塔循環水ポンプを指し、これらがそれぞれの冷温水機、冷凍機に付設されている。年間を通じて消費電力が大きいのは稼働率の高い吸収冷温水機用の補機である。

表4は、冷暖房熱需要量に対して、吸収式冷温水機及びターボ冷凍機により冷温熱を供給する際の総合C

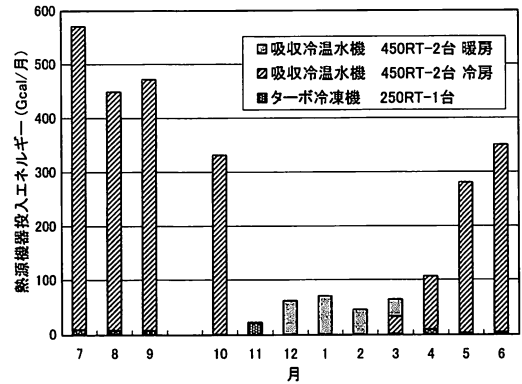


図5 熱源機器投入エネルギー

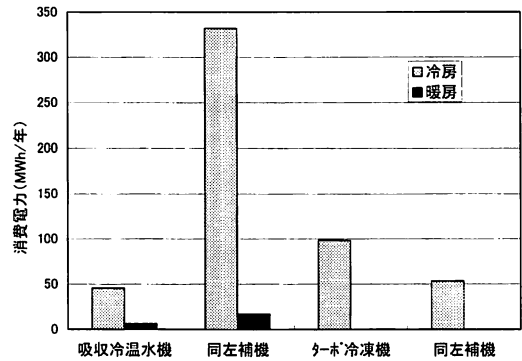


図6 冷暖房熱源機器の消費電力

表4 冷温熱供給総合COP

		7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月
需要熱	冷熱	523,614	381,358	376,545	263,998	122,126	0	0	0	10,339	134,329	240,104	311,906
	温熱 加湿	0	0	0	0	流量	19,380	28,312	26,205	5,048	温熱量	0	0
需要熱合計		523,614	381,358	376,545	263,998	122,126	19,380	28,312	28,934	16,752	134,329	240,104	311,906
投入熱	吸収冷温水機	562,853	441,256	464,745	332,155	1,809	62,851	71,498	46,171	31,758	98,187	279,712	347,373
	同上ファン・ポンプ	9,828	8,300	7,347	5,109	581	716	1,945	1,610	1,275	292	2,440	5,242
	ターボ	8,265	7,831	6,983	9	20,766	0	0	0	1,637	9,844	2,851	5,047
	補機	70,441	60,155	70,527	29,656	26,049	1,858	5,051	4,180	3,309	14,150	12,424	47,450
投入合計		651,386	517,542	549,602	366,930	49,206	65,424	78,494	51,961	37,979	122,473	297,426	405,112
総合COP		0.80	0.74	0.69	0.72	2.48	0.30	0.36	0.56	0.44	1.10	0.81	0.77

OPの値を月別に求めたものである。ここで、総合COPとは、得られた冷温熱量を冷熱機器に投入したエネルギー（図5に示した値）と補機類での電力消費量の和で除した値をいうものとする。夏季の冷房需要の大きいときには、総合COPは0.7~0.8、冬季の暖房需要期には、0.3~0.5であった。このビルでは吸収式冷温水機が主に運転されているが、夏季における総合COPの値が比較的低いのは、図1より知られるように、冷房熱需要が平均1,600Mcal/h（=530USRTに相当）であり、吸収式冷温水機定格容量（450USRT×2）のおよそ60%で運転されるため熱損失が大きくなるためであると考えられる。冬季の総合COPが夏季に比べて低いのは、毎日の暖房時間が午前、午後2回に別れ、しかもそれぞれが1~2時間という短い時間であるため、吸収冷温水機で温水を作る際の冷温水機立ち上げ時に熱損失があるためと思われる。11月は、冷熱需要が少なく、ほとんどが成績係数の大きいターボ冷凍機でまかなわれているため、総合COPが高くなっている。表4の投入合計エネルギーのうち、冷房用に消費されるものを合計すると年間2,960Gcalであり、これを延べ面積当たりで表すと105.7Mcal/m²・年となる。また、暖房用に消費されるものは、年間234Gcalであり、これを延べ面積当たりで表すと8.4Mcal/m²・年となる。

3.2 ビル全体へのエネルギー供給

次に、対象とした事務所ビル全体で使用するエネルギー量について見る。エネルギーは冷暖房用電気、照明・コンセント用電気、冷暖房用ガス、厨房用ガスに分類した。図7に各エネルギーの月別投入量を示す。電気使用量は年間を通じほぼ一定しており、内訳は照明・コンセント用が最も多い。次いで空調ユニットでの使用量が大きい。都市ガスは、夏季の冷房用熱源と

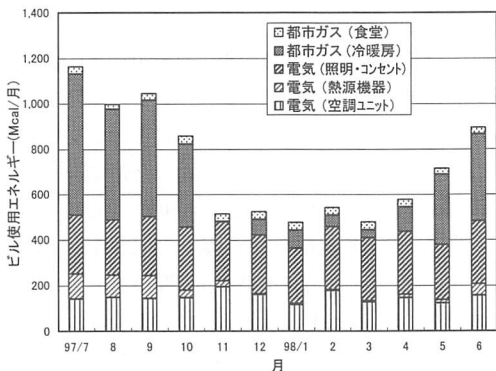


図7 ビル使用熱量の構成

表5 ビルでのエネルギー消費

用途・エネルギー種	消費量	Gca/年	%
冷暖房			
熱源機器	都市ガス 275,700 m ³	3,030	34.5
同上補機	電気 530 MWh	455	5.2
室内ユニット	電気 2,065 MWh	1,775	20.2
照明・コンセント	電気 3,640 MWh	3,130	35.7
厨房	都市ガス 34,230 m ³	380	4.3

しての使用量が大きい。これを年間のエネルギー需要量割合で見ると、表5のようになる。年間使用電力量合計は6,230MWh/年（5,360Gcal/年）、都市ガスが3,410Gcal/年であることがわかる。これらのエネルギーをすべて合計して、対象ビルへの全投入エネルギーを求めると8,770 Gcal/年となり、延べ床面積当たりでは、およそ310Mcal/m²・年である。

4. 考察

4.1 従来のビル熱負荷との比較

以上で求めた冷・暖房用エネルギー消費量及びビルに使用する一般電気使用量を既往の調査結果³⁾と比較して表6に示す。ここでは、一般オフィスビル、インテリジェントビル、インテリジェント電算センター（文献の分類による）と比較する。本報告で対象としたビルは、一般オフィスビルに比べてパソコン等のOA機器の設置台数が多く、上記分類の中で情報関連対応のインテリジェントビルに相当する。表からもわかるように、OA機器・電算機設置数が多いほど冷房用消費エネルギーが大きく、暖房用消費エネルギーが小さくなる。対象ビルでは、'87年調査のインテリジェントビルでの値に比べて冷房用エネルギー消費量はおよそ70%、暖房用エネルギー消費量はおよそ30%であり、特に暖房消費量の少ないのが特徴的である。

一般電力消費では、OA機器・照明、室内空調ユニット送風機での消費が主である。消費量は、インテリジェントビルのおよそ1.35倍となっており、内訳では、OA機器・照明での消費電力が130kWh/m²・年、空調ユニットでの消費電力が74kWh/m²・年と大きい。業務の性格上、この部分の省エネルギーができにくかったものと思われる。

4.2 環境負荷

(1) 冷暖房に関する環境負荷

これまで見てきたようなエネルギー消費構造の事務所ビルにおいて、冷暖房にもなって排出されるライフサイクルCO₂量を推算する。ここで、CO₂発生量原単位は、表7に示す値を用いた。

表6 エネルギー消費量の比較

エネルギー消費内訳		本報告	インテリジェントビル	インテリジェント電算センター	一般オフィスビル
調査時期		'97-'98	'85-'95	'85-'95	'85-'95
冷房用消費	Mcal/m ² ・年	108.7	149.0	339.5	71.4
	夏	23	20~30	30~35	13~15
	冬	0	2~3	22~30	0.5~1
暖房・給湯消費	Mcal/m ² ・年	8.4	47.9	21.5	49.9
	冬	2.3~2.8	7~10	1~3	10
一般電力消費	kWh/m ² ・年	203.8	150.1	814.5	170.3
			文献[2]	同左	同左

冷熱用 冷熱源機器が消費するエネルギー量(補機を含む)
 温熱用 暖房用・給湯用の温熱源機器が消費するエネルギー量(補機を含む)
 一般電力 総電力のうち熱源機器が使用する以外(照明・コンセント、室内ユニット)

表7 CO₂発生原単位

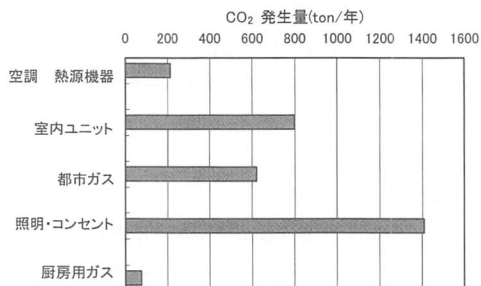
		原単位
エネルギー	電気	0.387 kg-CO ₂ /kWh
	都市ガス	0.205 kg-CO ₂ /Mcal
素材	鋼材	1.271 kg-CO ₂ /kg
	銅	1.226 kg-CO ₂ /kg
	塩ビ	2.671 kg-CO ₂ /kg

表9 ライフサイクルCO₂発生量

項目	CO ₂ 発生量	比率
機器製造時	160 ton	0.5%
運用時 (耐用年数 20 年間)	32,700 ton	99.5%
合計	32,860 ton	100.0%

表8 冷暖房システム素材製造時CO₂発生量

機器	素材	重量	CO ₂ 発生量
		kg	kg-CO ₂
吸収式冷温水機 (450 USRT×2)	鋼材	20,100	25,543
	銅	7,400	9,072
	合計		34,615
ターボ冷凍機 (250 USRT)	鋼材	6,660	8,464
	銅	1,240	1,520
	合計		9,984
チラーユニット	鋼材	4,350	5,528
	銅	650	797
	合計		6,325
冷却塔 (冷温水機用×2) (ターボ冷凍機用) (チラーユニット用)	鋼材	7,530	9,569
	塩ビ	7,670	20,489
	合計		30,058
空調ユニット	鋼材	50,800	64,557
	銅	13,900	17,041
	合計		81,598
			162,580

図8 ビル運用時のCO₂排出量

a) 冷暖房機製造時の環境負荷について

先ず始めに、冷暖房プラントの素材を製造する際の投入エネルギーより発生するCO₂量について評価する。表8に冷暖房プラントの構成機器である冷凍機、冷却塔、空調機についてカタログ値等によるおおよその重量と、その素材を製造する際のCO₂発生量の推算結果を示す。冷暖房プラントでは、製造時の全CO₂発生量はおおよそ160トンとなった。

b) 運用時の環境負荷について

図8に、表5に示したエネルギー消費量に基づいて算出した空調運用時のCO₂の排出量を示す。空調設備運用時の全CO₂排出量は、熱源機器、室内ユニットの電力使用、熱源機器用都市ガス使用によるものの合計で年間1635トンとなり、延べ床面積あたりで表すと58 kg-CO₂/m²・年であった。

c) 冷暖房プラント製造時と、運用時のライフサイクル環境負荷の比較

次に、冷暖房プラントの耐用年数を20年とした場合のライフサイクルでの環境負荷について考察する。前述のように、冷暖房プラントの運用にともなって発生されるCO₂量は、電気、都市ガス由来合計で年間おおよそ1,635トンであり、20年間には32,700トンとなる。

一方、プラント製造時のCO₂排出量は160トンであるから、運用時のCO₂排出量を20年間のライフサイクルで比較すると、表9に示すように、製造時の排出量割合0.5%、運用時の排出割合99.5%となり、運用時のものが大部分を占めることがわかる。

(2) ビル運用時の環境負荷

この事務所ビルでは、空調の他に、OA機器・照明用電気、厨房用都市ガスが使われており、これから発生するCO₂の量は、図8より、電気使用量由来のものが年間1,400トン、都市ガス使用量由来のものが年間77トンである。ビル全体合計ではエネルギー使用に伴い年間3,110トンのCO₂発生量があり、これを延べ面積当たりで表すと、およそ110kg-CO₂/m²・年となる。

5. まとめ

最近の省エネルギー意識の高まりのなかで、OA機器を多数設置した情報関連業務ビルの冷暖房エネルギー需給の実態をあきらかにし、主として1987年に行われ

た各種ビルの冷暖房設備消費エネルギー原単位と比較した。その結果、調査ビルの冷温熱機器での消費エネルギー量は、冷房時及び暖房時において、インテリジェントビルの原単位のそれぞれ70%及び30%であった。また、冷暖房設備の総合COPは、夏季冷房時0.7～0.8、冬季暖房時0.3～0.5であった。

参考文献

- 1) 地域冷暖房に関する指導要綱；東京都環境保全局
- 2) 尾島研究室：建築の光熱水原単位〔東京版〕；早稲田大学出版部（1995）
- 3) 総合エネルギー統計（平成6年度版）；資源エネルギー庁
- 4) 空調設備計画・設計の実務の知識；空調和・衛生工学会編（1998）

協賛行事ごあんない

ウィークエンドセミナー2000 「IT革命と21世紀への扉を開く新製品・新技術」

〔主催〕日本機械学会関西支部

〔開催日〕2000年11月17日(金) 9:15～17:20

〔会場〕建設交流館8Fグリーンホール
(大阪市西区立売堀2-1-2)

〔参加費〕無料

〔定員〕300名

〔申込締切〕11月10日(定員になりしだい締切)

〔聴講料〕会員 10,000円 会員外 20,000円

学生会員 1,000円 会員外学生 2,000円

〔申し込み・問合せ先〕日本機械学会関西支部

〒550-0004 大阪市西区靱本町1-8-4

TEL: 06-6443-2073 FAX: 06-6443-6049