— 資 料 —

動物実験施設の光熱水料

— 新潟大学の場合 —

佐藤徳光・山田隆紹・藤沢信義・宗村昇平・高橋昭三

(新潟大学医学部附属動物実験施設)

1. まえがき

動物実験施設では、国際的に通用しうる実験データの再現性と普遍性をうるため空調(air conditioning)は、必須の要件となっている[4]。年間を通じ一定範囲の温湿度環境を維持しようとする時かなりのエネルギーを消費するから、動物実験施設では運営経費に占める空調経費の割合はかなり大きなものとなる。実際の運営面では経費節約のためさまざまな省エネルギー対策を強いられているのが実情である。どの程度の空調条件でどのような空調方式を採用するかという問題は、まずは施設設計段階で決断をせまられ、その結果はその後、半永久的に持続するということになる。したがって室温変化の動物に与える影響の検討[5]や、熱交換機の効率の問題[1]などは関係者に対し有益な判断資料となっている。

他方、既に稼働している施設に関しては、それぞれが採用している空調方式と実際に要した光熱水料を比較しあうことも必要で、ここからは将来的にさらに効率の良い空調方式へと、具体的な模索が始まるのであろう。しかし、現時点では残念ながら具体的な実績データの公表例が少なく、十分な比較検討を行うことができない。

新潟大学医学部附属動物実験施設は、1980年1月に竣工し1981年1月からは全室が稼働した。独立棟でかつ、消費するエネルギーは全て参考メータで把握されているので施設が年間に消費した光熱水料を正確に計算しやすい。そこで以下には当施設が全面稼働に入った1981年1月～12月について、いわゆる光熱水料を中心にその結果をまとめたものである。今後、施設の建設にかかわる方

々に少しでも参考になればと期待し、また、それぞれの専門分野の方々からは新潟大施設への今後の対策点などを御教示いただければ幸いである。

2. 新潟大施設の概要

当施設は新潟市の日本海岸よりに位置し、医学部研究棟に隣接して設置された。7階建て断熱材(発泡断熱材厚さ25mm)壁を有する独立棟で延面積は4,243m²である。このうち空調対象面積は3,242m²である。表1は各系統別にみた床面積とそれに空調条件の新潟の目標値を示したものである。施設内にRI実験室と感染実験室を内包している点、また、緊急時対策等を重視し動物室にも可能な限り外窓を設置した点は施設の平均像とは多少異った特徴といえるかも知れない。各種動物室の収容能力は表2のごとくである。1981年の動物の平均収容率は約60%であった。各動物室とも省力化を計るため小動物を除いては自走式ないし水洗方式の飼育ユニットを中心に設置してある。

新潟市の気候は夏は比較的湿度が高く、冬は降雪は少ないが季節風が強く日照時間が短い。5月初旬～6月下旬及び9月中旬～10月下旬は比較的温暖であるが、全体的に判断し空調にとっては、かなり厳しい気候条件ではないかと思われる。図1に参考のために施設周辺の1981年の気温と相対湿度を示した。

3. 空調条件と空調システム

室温の調整は、各種動物室とこれに附属する前室など

Reference: Energy Cost of Air Conditioning in Facilities for Animal Experimentation—A Case Report on Niigata University School of Medicine—

Norimitsu L. SATO, Takatsugu YAMADA, Nobuyoshi FUJISAWA, Shohei MUNEMURA and Shozo TAKAHASHI: Facilities for Comparative Medicine & Animal Experimentation, Niigata University School of Medicine, Niigata 951, Japan.

Table 1. Floor space of building

	Floor Space (m ²)	Air Conditioning	
		Summer	Winter
Animal rooms	1,014	23-26° C (50-70%)	22-25° C (50-70%)
Infected animal rooms	194	23-26° C (50-70%)	22-25° C (50-70%)
RI-Laboratory	246	23-26° C (50-70%)	22-25° C (50-70%)
Research rooms	245	23-26° C (50-70%)	22-25° C (50-70%)
Surgical operation rooms	253	23-26° C (50-70%)	22-25° C (50-70%)
Service area	1,290	24-28° C (50-70%)	18-24° C (50-70%)
Machine rooms	1,001	-	-

() : relative humidity

Table 2. Capacity of animal rooms

	Number of animals
Mouse	7,290
Mastomys	342
Rat	3,150
Hamster	180
Guinea pig	180
Rabbit	288
Cat	36
Dog	156
Monkey	22
Sheep	3
Pig	10
Bird	20
Fish & Amphibian	200

Fig. 1 Temperature and relative humidity of outdoor air in 1981 (mean±S.D.)

は1日24時間空調とし、冷房期は23～26°C、暖房期は22～25°Cの範囲を目標値とした(表1参照)。手術室や実験室は原則として利用時間帯を上記温度範囲での空調とした。事務室、管理室その他一般居住区は、冷房期は24～28°C、暖房期は18～24°C程度の範囲で空調することとした。いずれの部屋も給気は全てオールフレッシュである。

湿度の調整は、相対湿度が50%を下廻った時加湿するだけの方式をとっているので除湿は行っていない。

空調システムは図2に示したごとく10系統から構成されている。RI実験室と感染実験室を除き他の系統はそれぞれ4台の全熱交換機(Econovent, パーナーインターナショナル製, 1900JC型)を介し熱回収が計られて

いる。図3に空調機と全熱交換機の構造を示した。エネルギー消費をできるだけ少なくということで空調機には除湿機構(再熱方式)が組み入れられていない。したがって外気の相対湿度が70%を越えても積極的な除湿はなく室内の湿度上限は外気のそれに大きく左右されてしまう。夏期(冷房期)の高温、高湿時には空調機の冷水コイルに結露することから、絶対湿度と温度差によってはある程度の相対湿度の低下はみられる。

空調機による温度調整には、暖房期の加熱・加湿とも都市ガス(9,500Kcal/m³)をエネルギー源としたボイラーによる蒸気(4kg/cm²→0.5kg/cm²)を、冷房期は吸収式冷凍機により冷水(6°C)をつくって用いている。ボイラーおよび冷凍機とも中央機械室に設置されキャン

AC ; air conditioner, EV ; Econovent unit
FU ; filter unit, EX ; exhaust, OA ; outdoor air

Fig. 2 Air conditioning system.

hc ; heating coil, cc ; cooling coil (chilled water),
H ; humidifier (vapour), F ; fan motor, hf ; high efficiency
filter, gf ; glass fiber filter, EV ; Econovent, cf ; activated
carbon filter

Fig. 3 Air conditioner and heat-exchanger (Econovent unit).

パスの共用となっているが、冷凍機のみは目下のところ動物実験施設の専用となっている。施設で消費する蒸気、ガス、電気、水などはそれぞれ参考メーターで計量されている。

その他エネルギー消費の大きい設備を中心にその概要を表3に示した。供試動物の死体、使用済床敷、排水処理設備において分離された固型物などの焼却には、都市ガスを助燃材とした焼却炉で行っている。

Table 3. Equipments for air conditioning and others

	Unit	Total Capacity	Electricity
Cooling tower	2	365 Rt	11.35 (KW/H)
Cooling water pump	2	5,395 ℓ/min.	31.5
Circulation pump	7	5,710 ℓ/min.	45.5
Air conditioner	10	93,240 CMH {638.3 Mcal/H (heating) 513.7 Mcal/H (heating)}	54.2
Heat exchanger	4	79,900 m³/H	75.4
Exhauster	6	284 m³/H	16.4
Refrigerator	4	12.5 Mcal/H	9.17
Incinerator	1	150 kg/H	9.75
Drainage pump	5	750 ℓ/min.	3.4
Illumination	512		29.6
Boiler	3	(31t, Power Supply Center, common use, gas)	
Refrigerating machine	1	(300 Rt, absorption system, common use)	

4. 空調の実際と光熱水料

1981 年 1 月～12 月の空調システムの運転状況は、RI 実験室 (AC-1, AC-2) と手術室 (AC-3, AC-4) は 1 日平均 8 時間の稼働となったが、実験室や居住区の系統 (AC-9) は夜間の実験者が多く結果的に 1 日 24 時間運転となった。動物室系統 (AC-5～8, および AC-10) は全て 1 日 24 時間運転である。

動物室の空調結果は図 4 の通りであった。室温はいずれも目標値を達成しているが、湿度は 7～8 月 (冷房期) に高い値を示している。これは空調システムに除湿機構を欠くためで、いかんともしがたい。平均では年間を通じ 50～70% の範囲にはあるものの、冷房期の雨天日には動物室の相対湿度が 80% を超える場合があった。一方、換気回数は平均 20 回/H となっており、全般的に汚物臭は少なく動物の健康状態は良い。夏期雨天日の湿度の問題を除けば空調結果はほぼ満足しうる範囲にあるものと判断している。

以上の空調条件で 1981 年 1 月～12 月に要した光熱水料をまとめてみると結果は表 4 の通りである。表中には参考のために湿り空気線図 [3] を用いて求めた動物室空気と外気のエンタルピー (enthalpy) の差を附記した。7 月、8 月 (冷房期) は、エンタルピー差が小さい割に光熱水料が約 454 万円/月となり、他の月 (暖房期) よりかなり割高となっている。これは冷房期には特別に冷水ならびに冷却水の循環ポンプが稼働することも大きな要因と考えられる。ちなみに冷水、冷却水循環ポンプの消費

Fig. 4 Temperature and relative humidity of animal rooms air after air conditioning in 1981 (mean±S.D.)

電力料は平均約 80 万円/月となっている。なお、7、8 月は電気料は夏期料金制で 8 % 高となっているが、都市ガスは逆に 13% 安の料金制となっている。7 月、8 月以外の月 (暖房期) は外気と室内空気のエンタルピー差にほぼ相応し約 198～364 万円/月の光熱水料となっている。ガス料金のうち、焼却炉は平均約 100 時間/月の稼働率であり、使用ガス料金は約 25 万円/月となっている。以上を年間を通してみると、新潟大施設の場合、現行料金制で平均約 300 万円/月の光熱水料ということになる。

なお、4 台配備した全熱交換機の効率であるが、7 月

Table 4. Energy cost for air conditioning and others in 1981

Month	Difference in Enthalpy* (Kcal/kg)	Electricity		Gas for Boiler		Gas for Incinerator		Water**		Total (Yen)
		(KWH)	(Yen)	(m ³)	(Yen)	(m ³)	(Yen)	(m ³)	(Yen)	
Jan	7.9	56,053	1,115,768	20,707	1,795,351	1,661	145,702	782	124,906	3,181,727
Feb	7.8	54,643	1,106,142	21,247	1,842,187	1,510	132,357	1,098	175,407	3,256,093
Mar	6.5	70,076	1,164,088	12,513	1,085,101	1,743	153,465	1,030	164,526	2,567,180
Apr	5.0	61,292	1,170,404	12,862	1,115,370	2,321	204,469	905	144,564	2,634,807
May	3.2	58,903	1,149,928	5,949	516,026	2,045	181,206	862	137,607	1,984,827
Jun	2.6	61,844	1,177,444	5,103	409,460	2,944	261,223	1,160	185,319	2,033,446
Jul	-2.9	87,944	1,732,622	29,836	2,164,849	3,773	344,428	1,531	244,643	4,486,542
Aug	-1.6	90,431	1,900,834	29,863	2,176,111	2,880	257,133	1,570	250,862	4,584,940
Sep	1.4	63,303	1,396,784	12,128	914,769	3,386	301,656	1,357	216,851	2,830,060
Oct	3.3	56,905	1,202,776	7,946	689,298	3,250	287,221	1,148	183,376	2,362,671
Nov	6.0	58,589	1,212,501	16,210	1,405,595	3,183	280,210	1,609	257,096	3,155,402
Dec	6.9	58,759	1,201,956	19,787	1,715,440	5,182	454,346	1,687	269,611	3,641,353
Total		778,742	15,531,247	194,151	15,829,557	33,878	3,003,416	14,739	2,354,768	36,719,048
Mean/Month		64,895	1,294,271	16,179	1,319,130	2,823	250,285	1,228	196,231	3,059,921
Mean cost		20 Yen/KWH		83 Yen/m ³		160 Yen/m ³				

*) enthalpy of animal rooms air - enthalpy of outdoor air, **) cost includes sewerage charge

Fig. 5 Efficiency of heat-exchanger (Econovent unit) in July and December (1981)

(冷房期)と12月(暖房期)の温度比較を図5に示した。7月では外気温を最高で約5°C程度低下させ、12月では最高で約10°C程度上昇させている。温度差から、全熱交換機の効率を計算してみると最も良いところで約60%という値になっている(中間期については考察でふれる)。

5. 考 察

既に稼働中の他大学施設の実績(私信による情報など)を基に新潟大施設の光熱水料を考察すると、新潟大施設のそれは再熱方式でない割には平均を上まわっているのではないかという印象を受けている。しかし、各地の気候の違い、空調方式の相違、エネルギー源の違いなどがあるから単純な結論はさけない。今後、それぞれの施設の詳細なデータが明らかになった時点で、再度詳しい比較を行ってみたい。

新潟大施設は外窓が多い。動物室にも外窓を設けたことで照明コントロールの精度はやや低下するが、繁殖障害や実験データにバラツキを増すような問題には致っていない(厳密な実験には調光実験室を用意している)。しかし、外窓を通じての空調効率の低下は考えられる訳で、これがどの程度のものなのか正直のところ関心が高

い。残念ながら目下のところこれを直接比較する手段を見い出せないでいるので結論が出ない。今後、検討を要する問題である。動物室にも外窓を設けた大きな理由は、1)緊急時対策、2)作業従事者の精神衛生面への影響を重視した結果で、空調効率をより重視する考え方に立てば勿論、動物室には外窓は無い方がよい。

今後さらに電気料金やガス料金の値上げが予想される(ガスについては昭和57年4月より23%の値上げが決定されている)。動物実験の精度の問題と空調経費の問題は将来的にもかわりをもつ大きな課題として横たわっている。太陽熱の利用、コンピューター導入によるきめ細かいエネルギー管理など魅力的な話題も多い。ただ、建築費や設備費の制約から現在のところ積極的な採用は行われていない。今後の努力、発展が期待される面であろう。

新潟大施設の経験からは、(1)再熱をしないマルチ方式の空調システムでは当然のことながら湿度調節は難しい。今までのところ高湿時に特に疾病発生率が高いという経験はしていないが、さらに監視を続ける予定である。(2)冷房システムの光熱水料は湿度の制御を行わない条件下でも暖房より割高になる。したがって、今後は冷房システムの効率を少しでもあげること、さらに低経費で行える除湿方法の工夫が残されている。(3)全熱交換機の利用は既に鹿児島大施設が指摘しているごとく暖房期、冷房期とも有効といえる。ただ、外気温が室温目標値の維持に適した範囲にある中間期に於ては、ある時期、ある時間帯で逆に不必要なエネルギーを消費する場合はある。動物室など由来の排気温が動物の体温などの影響で約25°C程度になっている場合、例えば外気温が20°Cの時、給気は全熱交換機を介して23°C程度に加温される。動物室温度を25°C以下に維持しようとすると空調機では冷水コイルを働かせ約20°Cの空気を送らなければならない。本来なら外気(20°C)をそのまま利用すれば良い訳でこの例では冷房用エネルギーとEconoventのロータ回転エネルギーは無駄な消費ということになる。新潟大施設には全熱交換機をバイパスする給気の通路は設定されていない。そのため、中間期の5~6月と9~10月の一時期(それぞれ約2週間程度)は外気温をみながら全熱交換機のロータ部分のみを一時停止させている(ただし、ロータの停止はEconoventの目づまりの原

因となるのでよくないとされている)。以上のような時期は新潟ではごく短いので、仮にロータの停止を行わなくとも暖房期や冷房期の熱交換率を考慮すると全熱交換機の利用は年間を通じては、かなりの省エネルギーにつながっているものと考えられる。

大型施設の運営では、どんな小さな改善でも年間を通じては、かなり大きな節約につながる。精度の高い動物実験を可能にするため既に提案されている空調基準[2]を参考にしながらさらに施設のエネルギー効率を高めるための努力も必要である。種々の情報交換を望むものである。また、施設にかかわるそれぞれの専門分野の方々からは積極的な御批判、御教示をいただきたいのである。

要 約

新潟大学医学部附属動物実験施設は1980年の1月に竣工した。動物室;1,014m², 感染動物室;194m², 手術室;253m², RI実験室;246m², 研究室;245m², サービス区域;1,290m² および空調機械室1,001m² よりなっている。このうち空調対象面積は3,242m² で年間を通じ室温22~26°C(湿度約50~70%)に維持されている。1981年に消費された光熱水料は計算の結果月平均300万円となった。空調方式との関連で若干の考察を行った。

動物実験施設完成までに多数の方々の御協力をいただきました。特に既に稼働中の施設には再三にわたる見学をさせていただき、また有益な助言をいただくことができました。ここに厚くお礼を申し上げます。

文 献

- [1] Fujita, S., Yamauchi, C., Tanaka, I., Obara, T., and Morita, S. (1976). Efficiency of heat exchanging equipment in a laboratory animal facility. 実験動物, 25, 309-316.
- [2] 環境調節実験室委員会小動物班(文部省総合研究班)(1963). 実験動物飼育施設の建築及び設備計画の基準案, 実験動物, 15, 17-41.
- [3] 空気調和, 衛生工学会編(1971). 空気調和設備の実務の知識, オーム社, 東京.
- [4] 日本学術会議(1980). 「動物実験ガイドライン」の策定に関する勧告. 実験動物, 30, 173-178.
- [5] Yamauchi, C., Fujita, S., Obara, T., and Ueda, T. (1981). Effects of room temperature on reproduction, body and organ weights, food and water intake and hematology in rats. Lab. Anim. Sci., 31, 251-258.