

岡山大学医学部附属動物実験施設の 省エネルギー、特に節電方策について

倉 林 謙

岡山大学医学部附属動物実験施設

当施設は、昭和48年3月に1,141 m²の第一期工事が竣工し、昭和57年7月に3,334.37 m²の第二期工事が竣工して、合計4,475.37 m²の動物実験施設となってから約4年間経過したが、本施設的全館稼働に際して種々な問題が生じて来た。

その中で最大の問題は、光熱水料の過大問題である。昭和59年度の光熱水料の総額のうち電力料は約68.0%、上下水道料は14.0%、重油料は、約18.0%ならびにガス代は約0.2%となっている。この中で最も大きい負担になっているのは電力料で

あるので、この電力料の節減の方策についてその一案を立案し、ランニングしたところ、若干の成績を得たので御批判願いたい。

1. 当施設の電気設備ならびに空調方法

電気料に直接はね返るものとしては、電気設備(表1)、空調設備(表2)および空調方法(図1)、ならびに照明設備等が主であるが、その他給排水設備、給湯、給蒸設備、オートクレーブ、ケージワッシャー、エアシャワー、パスボックス、エ

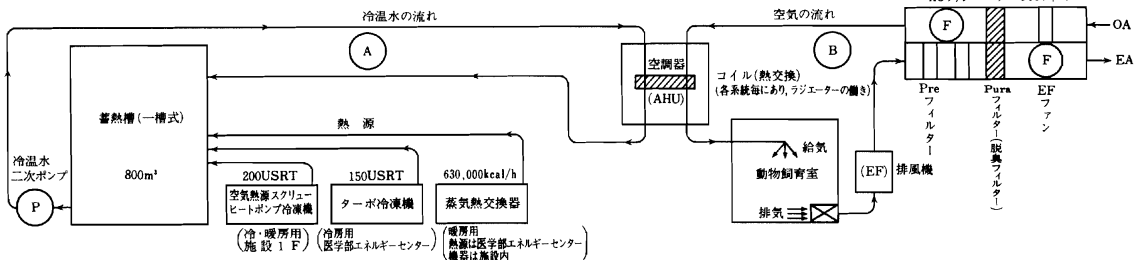
表1 電気設備

受電方法	3相3線式 6.6KV 60Hz
変電設備	構内変電室より1回線受電 3相 300KVA×1台 空調 3相 200KVA×2台 空調・一般動力 3相 150KVA×1台 空調・実験電力 1相 100KVA×1台 照明・実験電力 高压受電盤 2面 VCB 7.2KV 600A 高压配電盤 3面 VCS 7.2KV 100A×1台 VCB 7.2KV 600A×2台 低压配電盤 4面 直流電源装置 1台 100V/20AH
自家発電設備	3相3線式 6.6KV 60Hz (別棟特高変電所設置自家発電より1回線受電) 3相 150KVA×1台 空調・非常用一般動力 1相 50KVA×1台 照明・実験電力 低压配電盤 2面

表2 空調和設備

●空調和方式	●主要機器
1. 一般動物飼育室系統 全外気AHUによる単一ダクト方式	空気熱源スクリュウヒート ポンプ冷凍機 200 USRT
2. 検疫・特殊動物室系統 全外気AHUによる単一ダクト方式	蓄熱槽 1槽式 800t
3. スードマウス系統 全外気AHUによる単一ダクト方式	空調和機 14台
4. 実験室・処置室系統 全外気AHUによる単一ダクト方式	全熱交換器 アルミニウムロータ型 (脱臭フィルタ組込) 2基
5. 居室系統 ファンコイルユニット方式	
6. 洗浄室系統 ファンコイルユニット方式	

図1 空調方法



レベーター、コールドルーム、消火設備X線撮影装置、X線透視装置ならびに通信設備、その他各種実験機器類も電力料に関係ある設備として無視できない。当施設の空調方式は、表2、図1に示すごとく、動物飼育室系統は、オールフレッシュエア型のダクト方式であり、ヒトの居室ならびに洗浄室系統は、ファンコイルユニット方式である。

省エネルギーのための設備として800トン(8m³)容量の蓄熱槽ならびにアルミニウムロータ型全熱交換器2基が設置されている。

この蓄熱槽内の800トンの水を、空気熱源スクルーヒートポンプ冷凍機(冷暖房用)、ターボ冷凍機(冷房用)ならびに蒸気熱交換器(暖房用)等で温めて温水にし、また、冷却した冷水を冷温水二次ポンプにて空調器(AHU)へ循環させ、熱交換された冷温水は蓄熱槽に戻るようになっている(Ⓐサイクル)。外気(OA)は、プレフィルター、全熱交換器のローターを経てACファンにより、空調器(AHU)に外気が送られ、そのコイルにて熱交換され設定温度ならびに湿度に調整された清浄空気が動物飼育室の給気アネモより供給される。また、実験動物が呼吸し汚染された空気は排気ダクトより排風機(EF)により吸引され、実験動物の被毛ならびに大きな塵埃を除去するプレフィルターならびに有毒ガスを吸着する脱臭フィルター(Pura filter)を通った後、全熱交換器のローターに温熱あるいは冷熱のみ吸収され、汚染空気は清浄な空気となって外気へ排出される(EA)空調システムになっている(Ⓑサイクル)。

2. 節電方法

動物飼育室の空調は、昼夜運転を行う必要があり、停止することは不可能であるため節電は非常に困難である。施設内で空調を停止あるいは時間短縮できるところは、施設職員が作業するエリアあるいはユーザーの使用する実験室系のエリアに限られる。前者のエリアでは、節電でき得ることはすべて前年度から実施している。例えば、①居室の照明は、3灯を2灯あるいは1灯に減灯し、かつ部屋の退出時に消灯する等の点滅の励行を厳守する。②廊下の照明は必要最少限の照明に限定

している(1灯毎に蛍光管を取りはずし済)が、他の照明は、必要時のみ点灯するのみで常時は消灯する。③洗浄準備室、滅菌準備室、受入動物診療検査室等は、作業時のみ空調、照明ならびに換気扇のスイッチを点灯する。④動物飼育室の照明は、中動物の場合は、特別な実験に用いる以外は窓からの自然光により蛍光灯は消灯し、飼育している。しかしながら、無窓の中動物飼育室が一部あり、日中は完全に消灯できないので1/2に蛍光管を減灯し、節電をはかり、更にday and light timer(7-19時)を使用している。

小動物においても、day and light timer(7-19時)をほとんど実施しているが、特に必要ない動物については、3層からなる窓の最内側の鉄扉(day and light 使用時には遮光のため閉じている)を開け、中側の防虫網戸ならびに最外側のガラス(クモリガラス)窓は、閉じて自然光を採光し、室内の蛍光灯は消灯して飼育管理を行っている飼育室も一部ある。しかしながら、夏季の直射日光が強い時候には、冷房室内温度を上げる心配がある。動物飼育室の窓の最内側の鉄扉にはかなり断熱効果があるので、夏季においては、鉄扉を開けて自然光を採光し節電を計ることと、鉄扉を閉じて蛍光灯を点灯することとは節電に対してはどちらが得策かを十分考慮する必要があると思われる。特に夏季には、鉄扉を開けると外部の直射日光の日射しが強く、飼育室内の温度が温められるので鉄扉を開けず、更に飼育室内の蛍光灯を減灯した方が節電にはむしろ得策ではないかと思われるので、酷暑の折には南側の鉄扉は閉じることとした。

後者の実験室系の空調は、昭和58年度では、昼夜運転を行って利用者の夜間実験等の便宜を計ってきたが、光熱費の高騰でやむを得ず空調時間を午前8時30分より午後18時30分まで(冷凍機運転要員の勤務時間の関係)とすることとした。これはAC-4(旧館一般系統給気ファン)、AC-8(中動物実験室ならびにリカバリー室)ならびにAC-9(中動物実験室)のみが、24時間空調運転をしなければならぬ動物飼育室と明確に空調を区別し、単独に運転時間が規制できるエリアを区分し運転することによって節電できる方策を考え

たのである。

その他の節電方法は、⑤各所の給排気ファンの停止可能なものは極力停止する。⑥冷温水二次ポンプの発停をきめ細かく行う。⑦貯湯ポンプの夜間ならびに休日の運転停止。⑧飼育室内温度の調節は、夏季28°C、冬季は20°Cに設定を行い、±1°Cまでは誤差の範囲として認めざるを得ないが、各実験動物の至適温度ではなく、省エネルギー温度として、実験的にランニングした。

4. 節電量の概算値

1年間の空調時期を次の様に分類し、節電実施時期を会議の議決期間を踏まえ、8月より実施する計画を立てた。(○印が節電可能な月)

- ①中間期 (4・5・10・11月)
 - 122-22 (休日)=50日
- ②冷房期 (6・7・8・9月)
 - 122-22 (休日)=50日
- ③暖房期 (12・1・2・3月)
 - 121-26 (休日)=95日
- ④休日 (8~12月)
 - ①11日②11日③26日=48日

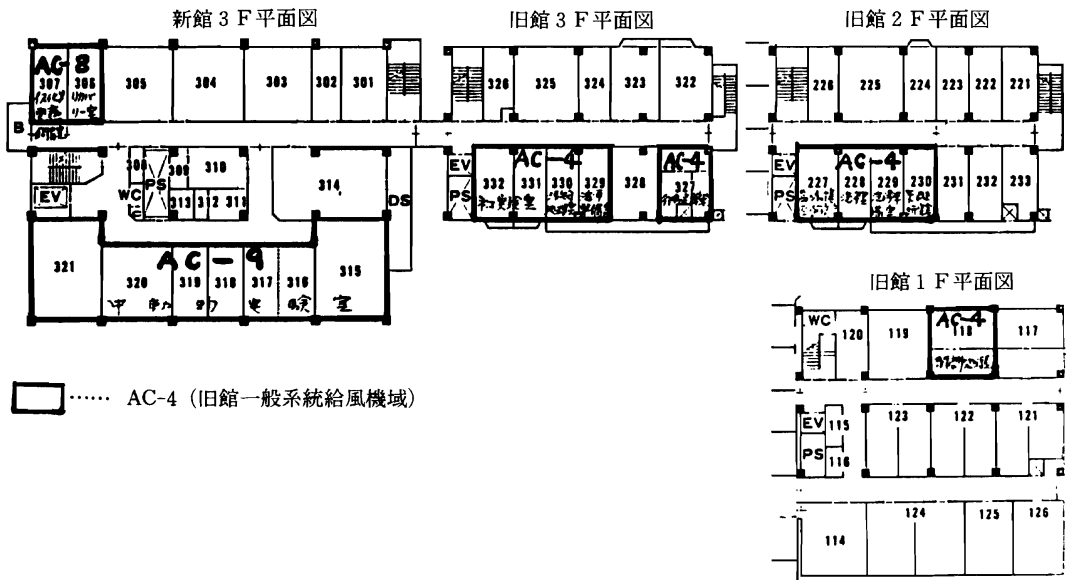
A. 実験室系 (AC-8, 9) の空調時間の制限による節電量:
施設開所当時の実験室系の空調時間は、前述

のように昭和59年度は昼夜運転 (24時間運転) であったが、節電に伴い空調の時間短縮を行なった。当施設では200トン能力の高圧ガスを製造するため、第2種冷凍機保安責任者の資格者が必要であることが法令で定められているので、その冷凍機運転要員 (外注) の勤務時間に合わせて、中間期では8:30~17:00 (8.5時間)、冷暖房期では8:30~18:30 (10時間) 運転とした。したがって前年度の昼夜運転からすれば、前者は、15.5時間/日、後者は、14時間/日の節電時間となる訳である。

また、節電できる実験室系は、図4に示す如く AC-9 (新館3階中動物実験室系 AC (給風機) 5.5 kw/h+EF (排風機) 5.5 kw/h=11.0 kw/h), AC-8 (新館3階イヌ化学発癌飼育室ならびにリカバリ室 AC (給風機) 1.5 kw/h+EF (排風機) 1.5 kw/h=3.0 kw/h)

- B. 旧館一般系統の給風機 (AC-4) の時間制限による節電量:
AC-4 (旧館一般系統の給風機),
- C. 各所給排気ファン (SF-1, EF-16, SF-2, EF-18, EF-15) の停止による節電量:
SF-1 (1.5 kw/h), EF-16 (1.5 kw/h), SF-2 (2個0.4 kw/h), EF-18 (2個0.4 kw/h), EF-15 (1.5 kw/h) 等の各所給排気ファン

図2 3F平面図



D. 貯湯ポンプの夜間休日停止による節電量：

貯湯ポンプ (0.25 kw/h) 等の夜間ならびに休日の運転停止によって節電する方法

E. 冷温水二次ポンプの発停をきめ細かく行うことによる節電量：

冷温水二次ポンプ (18.5 kw/h) の発停を必要に応じ細かく行うことによって節電する方法を主体に考えた。

F. 電灯点滅の励行ならびに蛍光管の削除による節電量：

AC—9 系統の節電試算は次のようになる。

- ① 中間期： $11.0 \text{ kw/h} \times 15.5 \text{ h/日} \times 50 \text{ 日} = 8,525 \text{ kw/50 日}$
 ②③冷房期： $11.0 \text{ kw/h} \times 14.0 \text{ h/日} \times 145 \text{ 日} = 22,330 \text{ kw/145 日}$
 ④休日： $11.0 \text{ kw/h} \times 24.0 \text{ h/日} \times 48 \text{ 日} = 12,672 \text{ kw/48 日}$

合計 43,527 kw/243 日

AC—8 系統を同様に試算すると、11,871.0 kw/243 日となり、AC—4 系統は、14,640.9 kw/243 日、各所給排気ファンは、30,727.2 kw/278 日、貯湯ポンプは、941.6 kw/243 日その他冷温水二次ポンプは、冷房期においても 8:30~24:00 までとし、日中の気温が 30°C 以上にならない日は、8:30~18:30 までとして節電した。少なくとも昭和 59 年度からすれば 24 時間運転を 13.5 時間運転に、二次ポンプ運転時間を減ずることが図 3 から可能であることが解ることから、昭和 60 年 8 月から昭和 61 年 3 月までに、4,495.5 kw/243 日の節電となる。

G. 電灯の点滅の励行ならびに蛍光管のとりはずしによる節電量：

電灯の点滅の励行による節電量を計算することは不可能であるが、蛍光管のとりはずしあるいは室内蛍光灯の点灯を行なわなければ、明らかにその電力量が節減できる。実験動物飼育室で有窓の部屋で、day and light の不要なところは消灯あるいは蛍光灯削減により節電を計り、無窓飼育室では、蛍光灯削減のみにて day and light を実施し節電をした。施設の北側あるいは南側の飼育室によって、室温が相当影響されるため、南側の窓（鉄扉）は開けず、蛍光灯削

減の方が省エネルギーになると考えられたので、この方法を採用したことは前述した通りである。

これらの省エネ策を構じた結果、施設全体で、昭和 60 年 8 月より昭和 61 年 3 月までの 243 日間で 6,298.6 w (138,568.3 円) の節電が出来ることになり、空調の動力関係に比較し、非常に少ない電力料ではあるが、“チリも積もれば山となる”の例えで微量でも長い年月に至れば相当量の節電になると思われる。

以上各所の節電総量は、106,203.2 kw/243 日となる。kw 単価 22 円として計算しても 2,336,470.4 円の節減が出来ることになる。

昭和 59 年度総電力消費量は、約 176 万 kw (約 3,860 万円) という実績値から、昭和 60 年度に予測される消費電力量は、約 165 万 kw (約 3,630 万円) となり、対 59 年度比は、約 94.1% (-5.9%) となる見込みである。

H. 室温設定による節電量：

実験動物飼育室の温度設定によっても電力量に大きく関係することは当然である。最適な室温 (optimal temperature) ならびに省エネルギー温度 (saving energy temperature) の両面から考慮する必要性がある。

表 3 は、各実験動物の適正な飼育室温、相対湿度ならびに体温 (直腸温) である。

Room/cage と Pen/Free Ranging とでは、室温が異なり、当施設内の飼育室温は、Room/cage の値が当てはまるものとする。

いずれも、マウス、ラット、ハムスター等の小動物では、21~25°C が適当であり、緬羊、豚等の中動物では 5~24°C、イヌ、ネコ等は 18~22°C 程度、モルモット、ウサギ、ニワトリ等では 6.5~20°C と比較的低い温度で飼育できる。

これらは、あくまでも optimal temperature であり、生理学的な数値が正常な範囲を保てる値が設定されている。しかしながら、これが省エネルギー温度ではないことも考慮しつつ、実験動物の生命維持に問題が無く、かつ実験研究にも影響のより少ない飼育条件を選ばなければならないことは、私共研究者にとり重大な問題であり、未だ成書にも記されていない条件を模索することは大きな関心事である。空調機の故障等により、飼育室

表3 各実験動物飼育室の最適温度・相対湿度ならびに直腸温(体温)

SPECIES (weight)	TEMPERATURE °C		R. H. %	RECTAL TEMP. °C ± 0.5	SPECIES (weight)	TEMPERATURE °C		R. H. %	RECTAL TEMP. °C ± 0.5
	Room/Cage °C	Pen/Free Ranging				Room/Cage °C	Pen/Free Ranging		
MONKEY < 7 kg (Macaque) > 15kg	22—25	18—29	45—60	39.0	CAT	20—22	15—25	45—60	38.5
MOUSE < 20g > 20g	22—25	20—30	50—70	37.5	CATTLE call cow	10—25	2—27	40—70	38.5
RABBIT < 4 kg > 4 kg	16—20	10—28 shade	40—50	39.5	CHICKEN	65—70	12—27	45—70	39.5
RAT < 150g > 150g	20—25	15—29	50—55	37.5	DOG < 12kg > 15kg	18—21	5—25	45—55	38.5
SHEEP	5—21	0—24	50—75	39.5	GOAT	15—24	7—30	55—65	39.5
SWINE	17—24	10—25	55—75	39.0	GUINEA PIG < 350g > 350g	16—20	13—31	50—60	39.5
					HAMSTER	21—24	20—30	45—65	39.0

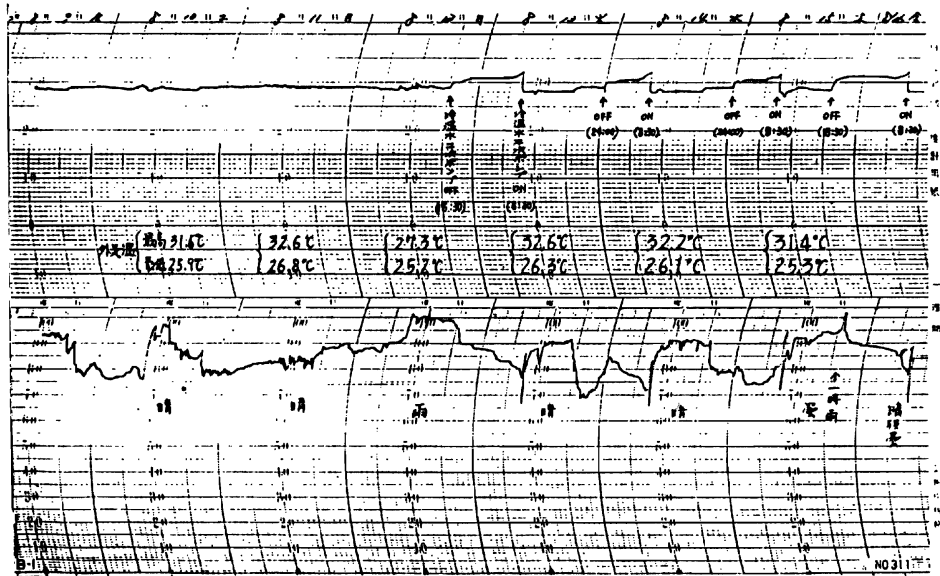
(Guide to the care and use of experimental animals)
(1980) より引用。

温が上昇あるいは下降しすぎれば、実験動物の体温調節機構がうまく行かず生命に危険をおよぼすことになり、これに反し、optimal temperature に近づければ、実験動物自体の生理状態は良く維持できるものの、省エネルギーにはならない点が悩みの多いところである。動物実験施設を設立した背景には、医学部キャンパス内に点在していたプレハブ動物小屋から実験動物を集中化し、恒温、恒湿等の理想的な飼育条件のもとで飼育ならびに研究ができることを啓蒙し完成させた施設だけに、あまり環境条件を実験動物に対し住み心地を悪くする訳にも行かない点も、設定温度を決める上で考慮されなければならない点と思われる。また、山内ら¹⁾に依れば、例えばマウスならば22~24°C (23±1°C) までと生理的数値が変らぬ温度をもって、至適温度と考えているし、田嶋ら²⁾にも、各実験動物の温度設定が記されているものの、これらはすべて、optimal temperature であり、省エネルギー温度の設定の standard は無い。この条件設定をするには、各動物別の optimal temperature からどの程度上下できるかということについて詳細な研究をしなければならないし、これを一つ一つ設定するためには、相当の年月を必要とし、また慎重に検討しなければならない問題と考える。

しかしながら、当施設の省エネルギー問題は切迫した問題で、放置しておけばエネルギーは、刻々と消費する訳であるが、一方実験動物サイドからは、住居となるべきケージ内で健康に生活し、かつ研究者に良いデータを提供しなければならないという二面性がある中で、省エネルギーを実行しなければならないジレンマがある。しかし、学部全体で省エネ方針を決定したことから手を拱いている訳にも行かないので、次の方法で節電を試みた。

動物飼育室の温度を夏季は至適温度の上限温度24°Cから徐々に上昇させ、現在飼育中の実験動物を嚴重に施設の飼育責任者が監視し、またユーザーからの声も良く聞き参考にした。その結果、小実験動物では28°C程度までは特に大きな障害なしで健康な生活が出来るが、29~31°C程度まで外気温に近づけると動物の健康維持が困難となり、実験処置後のラットであったが少数匹に死亡事故が発生した。したがって、夏季は最高28°Cでコントロールすることにしたところその後多数の死亡事故は発生していない。ただし、無菌動物(ヌードマウス)は22°C設定にした。また、図5に示したように、18:30あるいは24:00から8:30までの14時間ないしは8時間30分間冷温水の二次ポンプを節電のため停止させた場合の室温な

図3 夏季による冷温水二次ポンプの夜間停止による室温の変化(マウス飼育室)



らびに相対湿度をマウス飼育室で記録したものであるが、最高32.6°Cまで上昇したが死亡事故は無かった。

一方、冬季については、小動物の至適温度の下限22°Cから1°C程度宛徐々に下降させたところ、18~19°C程度に下降させたところで数匹のラットの死亡事故に遭遇したので、現在20°Cで(ただし、無菌動物、ヌードマウスは22°C設定)室温をコントロールしているが、大きな死亡事故は発生していない。

これらの結果から、飼育室温が高い場合には、イヌやウサギ等は呼吸数が増加し、正常な生理状態を維持できなくなることもあるが、小動物においては寒い環境よりむしろ暑い環境の方がより長く耐えられる様子が伺えた。これらのことは「実験動物の血液や血清生化学的性状は極端な温度条件でない限り容易に変化せず、イヌはマウス、ラットと異り影響を少なく受ける」という山内らの実験結果からも推察できる。

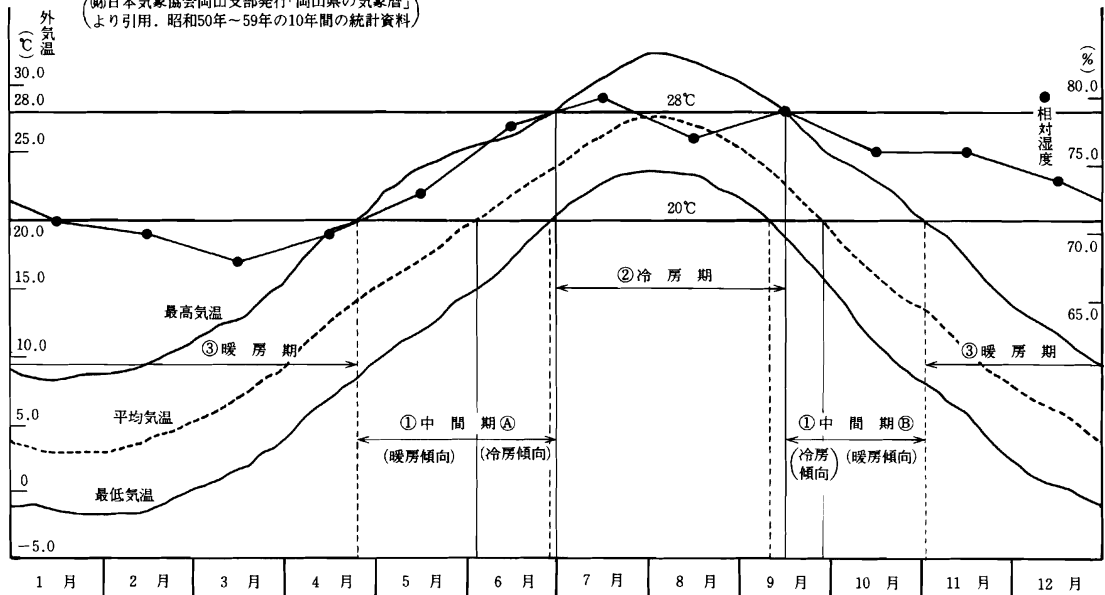
4. 考察ならびに結論

動物実験施設の省エネルギー(特に節電)を考える場合最も重要なことは、施設建設時に電力を可及的費やさない設備を設計することが肝要である。しかしながら、約4,400 m²の建物の冷暖房を

一定の温度ならびに湿度条件にて設定し、24時間運転を実施するためには、かなりの電力量を必要とすることもやむを得ない実情である。しかれば、これらの空調設備に省エネルギー対策の設備を併設し工夫する必要性も生じてくる。例えば、自然の太陽熱を利用したソーラーシステムを利用し省エネを計っている施設もある。このシステムは一般にイニシャルコストが高い割にはやや効率が低いので冷暖房用としては繁用はされていないものの、給湯用としては家庭用のソーラーシステムの効用からも解るように、かなり効率が高いので利用できるものと思う。

また、当施設にも各所で数多く設備してあるものにコンデンサーがある。これは、力率改善をするもので、日夜各空調機器が運転され電力を消費しているが、その一部に有効に使われていない電力があるのである。この効率を高めようという節電機器である。この設置によって約10~25%程度の省エネが計れるばかりでなく、特に夏季には電力会社との契約量(Demand)をoverすると契約料金と同額の電力経費を支払わなくてはならない破目になり、これがかなりの思いがけない出費となることがある。この機器を設置するとDemandを抑えることができることと、更に節電ができれば、基本料金を落すことができるメリットがある

図4 岡山の外気温ならびに相対湿度
 (財)日本気象協会岡山支部発行「岡山県の気象暦」
 (より引用. 昭和50年~59年の10年間の統計資料)



有用な節電機器である。

これらの省エネ機器以外にも、これから種々な機器が出現することが予想されるが、予算があり、かつその施設に設置可能で効率的であれば、より早期に設置することが望ましいと考える。

岡山の外気温ならびに相対湿度は、図4に示す通りである。夏季では28°C、冬季では20°Cに空調条件の設定を行っているので、その範囲を示す線引をしてみると、平均気温から見れば、6月初旬から9月下旬までがこの上下限の線引の中にあり、冷暖房を必要としない時期と思われるが、最高気温を見れば、7月初旬から9月中旬までは28°Cを越えるため冷房が必要であり、最低気温から見れば、6月下旬以前と、9月上旬からは暖房が必要と思われる。このグラフは、(財)日本気象協会岡山支部にて昭和50年から59年までの過去10年間の統計資料から作成されたものであり、当施設の空調条件設定ならびにスケジュール等を計画するための目安には十分なり得るも、毎年の気温ならびに気温はこのグラフ通りに示さないことが多いので、この際は臨機応変に変える必要がある。特に空調条件の設定が困難な時期は中間期で、暖房期から空調中止時期を経て冷房期に至る4~6月頃と、その逆の9月~11月頃は動物の健康状態を見つつ節電を計るので、非常に気配りをしなければ

ならない時期である。この理由は、当施設には、8トン(800m³)の蓄熱槽を地下に有しており、暖房期にはその中の水を45°C程度まで日中ヒートポンプならびに蒸気熱にて温めておき、夜間暖房は、その熱を利用しようとする省エネ設備である。しかし、中間期の冷暖房の必要としない時期になると換気のみを行い、冷暖房用の冷温水ポンプを停止させて、気温気湿のcheckを十分観察する必要性があるからである。気候の良い中間期は短かく、その後冷房期あるいは暖房期が待っており、毎日の気候条件が晴れたり曇ったり、あるいは雨天等様々な天候によりかなり影響されることから十二分にcheck体制を厳しくしておかなければ省エネ気候を作っているために、動物の健康状態を保てない危険性がある訳である(optimalな気象条件下でcontrolしていれば多少の誤差は許される訳であるが)。我々は、かなりの光熱費のために病むなく実施しており、更に小さい温度差ならびに湿度差は季節による緩やかな変化は空調機器の性能からしても仕方ないことであるが、本来ならばこの様な省エネ気象条件は作るべきではないと考える。しかしながら、昭和59年度と、60年度比は、その成果が現われて昭和61年1月末日までで、92.9%(-7.1%)となっており、1kw単価を22円とすれば約220万円の節減という成績が得られ

ており、3月末日までは1月の実績値を積算すれば、約250万円は節減できることになり、計算値より相乗効果も期待できる見込みである。

以上当施設の節電方策を述べたが、動物飼育関係諸氏の御参考の一端にでもなれば幸いである。

終りに本件に関し種々御助言を戴きました日建ビル興業（株）の山下心一技師に対し深謝致します。

文 献

- 1) 山内忠平 (1985) : 2. 気候と要因, 実験動物の環境と管理, pp. 7 ~61.
- 2) 田嶋嘉雄 (1977) : 3.2 狭義の環境, 実験動物学 (総論), pp. 151 ~183.