

1. 発電と二酸化炭素

大学では卒業論文や修士論文の発表会が年中行事として行われているわけであるが、その頃になると決まってしまうことがある。かつてはその時期になると寒くてたまらない感覚であったが、最近は寒いと感じることは殆どない。これは多分、歳のせいではなく地球が温暖化している証拠であると思っている。すなわち、二酸化炭素の排出が増えている結果である。われわれの年代では炭酸ガスと言うほうが通りがよいのであるが、いつの間にか二酸化炭素と呼ぶようになった。このようなことはよくあり、授業中にGNPと書いていたらGDPと書いてあるので、ミスプリントと思ったこともあった。

二酸化炭素の排出は地球規模で生じており、空気に国境はないわけであるから、自分の国で大量に排出しても地球規模で拡散し薄められてしまうので、自己責任を感じない結果になってしまう。この気体が透明で無味無臭ということも自己責任を感じない原因であろう。しかし、ご存知のように、最近は国際的に二酸化炭素の排出を抑制する動きがあり、地球を救うため自動車産業においては燃費の向上が求められ、ハイブリッド車が既に実用化されている。一方において、発電量はうなぎ登りであり、特に夏季におけるエアコンの電気消費量は留まることを知らない。暑いからエアコンをつける⇒エアコンをつけるにはそれ相当の電気が必要⇒電気をおこせば二酸化炭素が増える⇒二酸化炭素が増えれば暑くなる⇒暑いからエアコンをつける・・・の悪循環で、何と人間は愚かなことをやっているのだろうか、自らあきれ返っているのは私だけではないだろう。

しかしながら、**図1**に見るように、電力の需要量はここ数年でかなり抑制されてきている。かつては、電力需要の伸び率が3%台であったが、それがいつの間にか2%台に下がって来ている。火力発電の効率は39%止まりであるから、この原因はエアコンの電力を低減する工夫のせいである。そのひとつはインバーター技術の導入、いまひとつは住宅やビルの断熱化—気密化である。インバーター付のエアコンは効率がよいので、冬季の暖房にも使うという悪い面を誘発したが、**図2**に見るような夏季の突出現象の抑制をもたらしたことは確かである。反面、春と秋を基準にすると、冬季にも突出が見られるようになった。

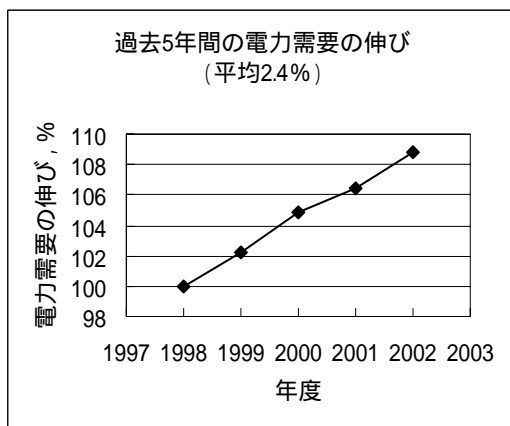


図1. 電力需要の伸び (電事連統計による)

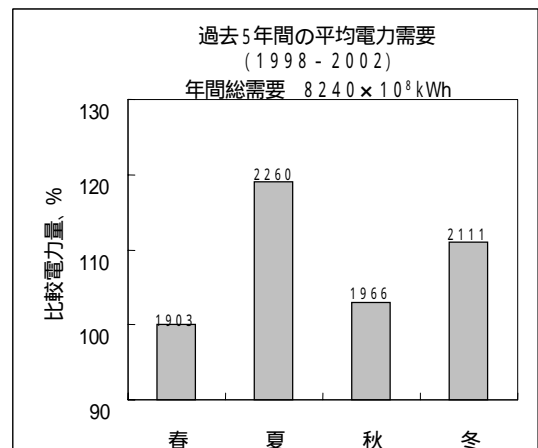


図2. 季節別電力需要 (春を100とする)

2. エアコンの設定温度と不快指数DI

不快指数は米国生まれの指標で、日常生活に利用すると大変便利な指標である。具体的には次のようである。
 $DI=0.81T+0.01U(0.99T-14.3)+46.3$, ここにおいて T は気温 $^{\circ}C$ 、 U は相対湿度%である。図3に見るように、 $DI=70$ までは特に気温が低くない限り超快適である(第一領域)。70を越し75までは全員が快適と感ずる領域(第二領域)。75を越し80まではやや暑い領域で半数の人はスーツ姿でもよいが、半数の人はシャツ姿を望む領域(第三領域)。80を越え86までは黙っていても汗がでる領域(第四領域)、86を越えると暑くてたまらないサウナ環境となる領域(第五領域)に区分されている。

図中、左上から右下にのびるバツ印の線は、山口県の内陸において、ある夏の日に観測された時刻と気温と湿度の変化を示している。朝の8:30では気温が26 $^{\circ}C$ で第三領域にあるが、その後気温はぐんぐん上昇し、10:30ではもはや第三領域にとどまることができず、第四領域に入ってしまう。従って、エアコンを使い気温を下げるにより第三領域に持って行くことになる。第四領域、時には第五領域に入ることもある高い気温は夕方まで続き、理屈の上では16:30を回るころになると第三領域に復帰する。しかし、屋外と屋内の遅延現象があり、室内の気温は一般に外の気温よりも1時間遅れると言われている。さらに深夜になると気温は低下し、翌日の朝5:30頃は短い時間であるが、第二領域を通過し、再び気温が上昇する。従って、気象条件が第四領域以上になった時に、室内を第三領域の環境にするのが冷房の役割である。

ここで注意しなければならないことは、気温が上がると相対湿度は逆に下がることである。であるから、エアコンにより室温を下げると相対湿度が上昇し、ついには露点に達し結露してしまう。図の第4領域の大きな白二重丸はその領域の平均気温で、この日は31 $^{\circ}C$ - 70%RH(RH=相対湿度)であった。この状態を28 $^{\circ}C$ に持って行くと、かろうじてではあるが、第3領域に入り、これが大きな黒丸の位置(28 $^{\circ}C$ - 82%RH)で、盛夏では日が変わってもほぼこの位置になる。これがエアコン28 $^{\circ}C$ 設定の根拠になっている。しかし、この設定

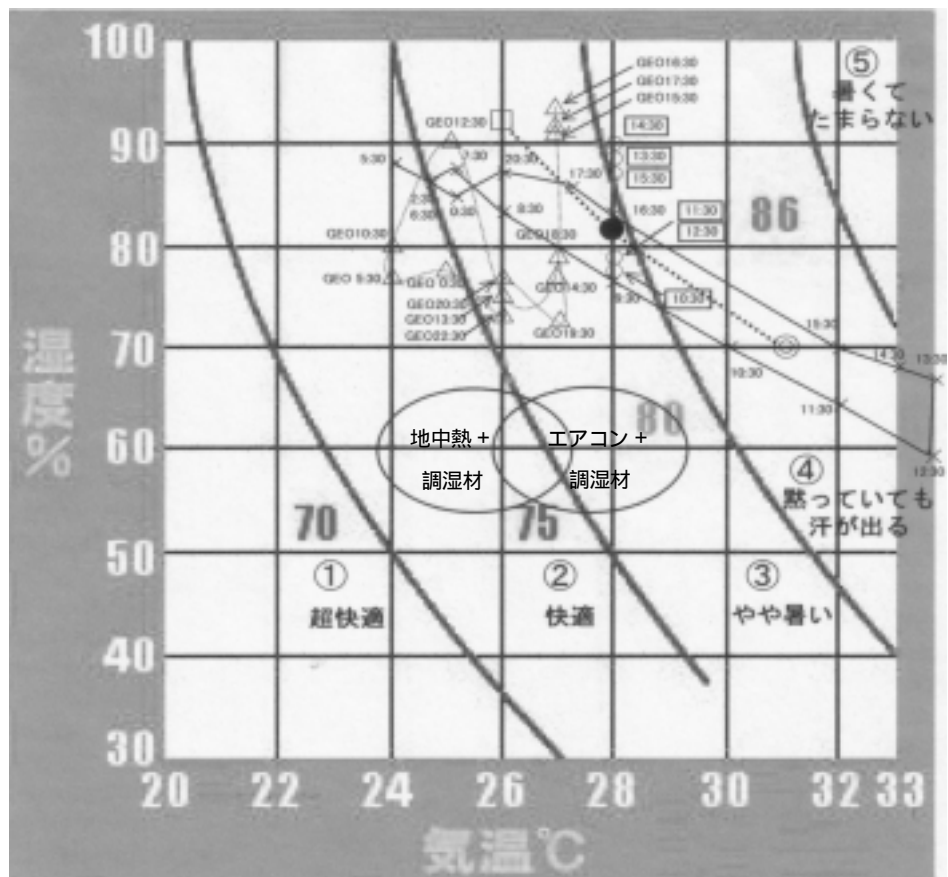


図3. 不快指数ダイアグラム

には盲点があり、**28°C**に設定しても不満が残る場合が頻発する。すなわち、図の四角で囲った時刻に注目すると、昼の**12:30**頃までは**28°C**設定でも第三領域を確保できるが、**13:30**を回ったあたりから、**28°C**設定では第三領域を確保できなくなり、第四領域に入ってしまう。従って、湿度を下げるのは容易でないから、気温の方を**28°C**よりも低くする。この際、**27°C**では物足りないので**26°C**に設定する人が多いと思われ、事実エアコンの設定は終日**26°C**の人が多し。大きな黒丸の状態を**26°C**に持っていくと**26°C**線上の大きな白い四角の状態になり、更に気温を下げると、**24°C**ではついに湿度は**100%RH**に達し結露してしまう。しかし実際には、冷却効率を上げるために、エアコンの冷却エレメントの表面はもっと低い温度になっているので、そこからホースを通してせっせと露を排泄している。従って、締め切り状態では室内の相対湿度が図の値よりも少し下がってくるから、室内壁が結露することは滅多にない。エアコンを入れた直後は特に露の排泄が多く、設定温度と室温が近づいて来ると露の排泄量がだんだん減ってくる。

3. 建物の断熱化と気密化

冷暖房のエネルギーを節約することは、夏季および冬季における電力需要の突出現象を抑えることにつながる。地球の温暖化を防ぐのに大変有効である。建物の断熱化と気密化は互いに密接に関係している。高性能の断熱材を使用しても、建物内の空気が外と通々では意味をなさない。従って、断熱材を使用するということは建物を気密化することに等しく、エアコンを使うことを前提にしている。自動車ではかなり以前からこの思想が普及しており、ルーフやエンジンルームを断熱材で遮蔽し、更に熱線吸収ガラスを使用している車種もあり、ウインドーからの太陽熱の進入を遮断し、エアコンが常時作動する設計になっている。私が運転免許を取った頃はタクシー以外は冷房装置が殆どなく贅沢品で、暑い中を窓を開けて運転したものだが、いつの間にか全車が冷暖房兼用のいわゆるエアコン付になってしまった。外の風を効率よく取り入れるために三角窓という工夫もあったが、前方斜めの視界をさえぎるということで、このアイデアも姿を消してしまった。建物も自動車と同様である。エアコンのせい、いつの間にか開放構造から気密構造に変化してしまい、更に窓には複層ガラスが採用され始めている。授業中に窓を開けて講義をしたほうがエアコンを使わなくても済むと思うが、風を通すには風の入り口だけでなく風の出口が必要で、最近の建物には窓はあるものの、自然風の流れを考えて設計されていないので、結局エアコンを入れるはめになる。更に、冷暖房の効率を上げるために室内容積を小さくしているので、天井高が十分でないから採光不十分となり、昼でも照明が必要という悪い結果を生んでいる。私が山口大学に奉職した頃、研究室の教授が米国に留学した。「君、アメリカでは昼でも電気をつけているよ。付けっぱなしで消したりしないんだよ。」という言葉が今でも強く印象に残っている。その頃は講義室の天井も高く、今にも雨が降りそうな曇天でもない限り、講義中に電灯を付けることはなかったし、夜間でも階段の照明等は必要な時だけ点灯し、階段を上がったたり下がったりした直後は、習慣的に消灯を励行していた。多分、私の想像ではあるが、米国でも冷暖房の効率をよくするため、いち早く天井を低く押さえていたのではないだろうか。

4. 工学は地球の危機を救えるか

私が最近研究しているテーマの中で地球の温暖化防止に関係のある部分を以下簡単に紹介する。

4-1. 安価な断熱材の開発

物質の熱伝導率は金属のように非常に高いグループ、中程度のレンガや石材のグループ、気泡を多く含む多孔体のグループ、繊維体のグループに大別され、一般に断熱材と呼ばれているものは、多孔体と繊維体を指し、熱伝導率が**0.20kcal/m·h·°C**以下である。多孔体とは軽石やコルクのような伝統的な物の他、最近では発泡スチロールのようなものまであり軽量である。繊維はそのままでは形をなさないが、樹脂で固めたり袋

に入れたりして繊維体になると、空気が閉じ込められ、髪と同様の非常に優秀な断熱材になる。実際に建物に使われている断熱材もやはり多孔体や繊維体である。無機質のものと有機質のものがあり、多孔体の場合は有機質のものに高性能なものが多い。最近、火力発電所から排出される石炭灰を用いて、熱伝導率が **0.05kcal/m·h·°C**程の物を私の研究室で開発した。既存の断熱材は **0.03kcal/m·h·°C**程で高性能であるが、断熱材は厚さを増せばその性能をカバーできる性質があるので、非常に安価に生産できる新規断熱材を今後大いに宣伝して工業化する計画である。有機系ではなく無機系であるから火災にも強い。

従来より日本では内断熱と呼ばれ、外壁の内側に断熱材を張る工法が広く普及している。木造が多いので仕方がないと言えばそれまでであるが、パリの石造りのホテルの窓から、早朝に外を歩く女性が毛皮を着て、例によって朝食のパンを買いに行った帰り道、パンをつまみ食いしながら歩く光景はよく目にする。室内は特に暖房が入っている訳でもないのに薄着のまま居られる。これは、石でできた外壁が極めて厚いために、前夜に暖房によって暖められた室内の熱が壁に蓄熱されているためである。従って、これを逆手に取ると暖房ばかりでなく夏の冷房電力を節約できる。日本の場合、欧州のように外壁を分厚くするのは困難であるが、熱容量の大きいコンクリート系である程度の厚さを確保し、逆に断熱材を外壁の内ではなく外に張る外断熱という工法が普及し始めている。すなわち、室内の冷房機器から発生する冷たい空気を外壁を冷却し蓄熱する。このような分野に使う断熱材は少々断熱性能が悪くてもよく、むしろ強度や耐候性が大事なので、新規断熱材はこの方面にも需要が期待できる。(注 SI 単位系では $W/m\cdot K$ を使う。 $1kcal/m\cdot h\cdot ^\circ C = 1.16W/m\cdot K$)

4-2. 安価な調湿材の開発

ケルビンの毛細管凝縮式で表されるように、細孔径が **10** ナノメートルを切るような世界では、水蒸気は素通りできず細孔内で液体の水になる。これをうまく利用すると夏場の室内の湿度を低減することができる。すなわち、相対湿度は気温の上昇とともに低下するが、絶対湿度は逆に上昇する。調湿機能をもつ多孔体を室内に張ると、夜間の気温低下により室内の絶対湿度が低下し、日中に吸い込んだ水分が多孔体から放出される。昼になると室内の絶対湿度が上昇するので、逆に水分が多孔体に取り込まれる。再び夜になると放出されこの過程を繰り返す。これをナノ多孔体の呼吸作用と呼んでいる。

従来より、ナノ多孔体は多種多様なものが生産され販売されている。しかし、値段が高いため、室全体に張り巡らすということはできず、専ら VOC 吸着に目が向けられ販売されている。VOC とは新建材等に使われている接着剤から出る揮発成分のことで、家で長時間過ごす割合の高い主婦や子供に頭痛や吐き気などの症状がでる現象が **1995** 年頃より増加し社会問題になっている。私の研究室で開発した物は、やはり石炭灰を主原料にする物で、水ガラス系のいわゆるジオポリマーバインダーと呼ばれる無機ポリマーで固めたものである。この無機ポリマーには多くのナノ細孔があり、従って調湿機能がある。安価に生産できるので、室全体に張り巡らすことができる。住宅やビルの新築や改築に漸次この材料を取り入れることで、**図 3** に示したように、エアコンの温度を下げるのではなく、相対湿度を下げる効果があるので、エアコンの設定を真の意味で **28°C** に設定しても構わない。結果として、**20%** の電力が節減できる。また最近、自然エネルギーを利用した「地中熱空調システムの住宅」が山口県のメーカーから販売されているが、地中の冷気を利用するものであるから、冷気が地下で結露してしまう場合があり、従って室内に運ばれる冷気も湿度が高くなる。特に、**図中** 三角で示したように、午後に高湿度になる傾向がある。一応、**第 3** 領域は確保できているが、さらに普及させるには室内の相対湿度をもっと下げる必要があるため、安価な調湿剤が要望されている。同システムは地下の冷気を運ぶための送風電力が必要であるが、それを差し引いても、電気冷房の **70%** を節約でき、夜間電力等を利用して地下の蓄熱槽に熱を蓄えるヒートポンプ方式と違い、最初から地下の冷熱を利用するので、原理的に電力に頼らない夢のシステムである。更に、冬季の暖房費も節約できるメリットがある。

ご質問ご意見等は次のアドレスへ：k-ikeda@yamaguchi-u.ac.jp