

YUCACO システム（壁掛エアコンによる住宅の普及型全館空調）*

～目的・事例・設計法・課題～

坂本雄三（YUCACO システム研究会・会長）

井口雅登（YUCACO システム研究会・テクニカルアドバイザー）

*本稿は「熱と環境」vol22（2014年冬）に掲載されたもののオリジナル原稿です。

1. はじめに

1.1 住宅の高断熱化とエアコンの高効率化

日本の住宅の断熱化は日々進んでいると見なしてよいでしょう。図1に新築住宅における省エネ基準の適合率の推移を示しますが、基準適合率は2010年に急上昇し40%台になりました。これは住宅エコポイントの効果があつたからですが、これに気を良くして（?）、政府は2012年から2013年にかけて、住宅・建築物の省エネルギー基準を大改正しました。新しい基準では、1次エネルギー消費量が新規に導入され「看板的な」判断指標になり、外皮の断熱性能等の基準は、趣旨は変わらないものの見かけが少し変わりました。このような改正は、次の施策として予定されている省エネ基準の義務化のための基盤づくりとして行われているのです。既に閣議決定された「日本再興計画」にも掲載されているように、政府は2020年度を目途に省エネルギー基準を義務化する腹積もりです。日本は北欧・中欧に比べれば温暖な気候ですが、断熱の効果が国民の間に広く認識されるようになり、住宅の断熱はようやく「市民権」を得ることができたと言えます。今では北海道ばかりでなく本州でも、北欧・中欧なみの超高断熱の住宅が建てられるようになりました。

ところが、日本のこのような高断熱住宅に適した暖冷房システムについては、国民の間で圧倒的に支持されるものがまだ存在していないように見えます。確かに日本列島は南北に細長いので、暖房システムについては様々なものが使われているようです。例えば首都圏では床暖房が支持されているようですが、これは首都圏では建物の断熱性能がまだ低いことが原因になっているとも考えられます。その証拠に断熱性能が高い北海道では床暖房はそれほど人気がある暖房システムにはなっていません。

家庭用の電動ヒートポンプ式エアコンディショナー（以下、単に「エアコン」と言います）は、暖房も冷房も行えますが、エアコンによる暖房は部屋が暖まりにくく上下温度差が大きいうという批判を受けてきました。エアコンによる暖房は、燃焼を伴う方式と比べて吹出温

度があまり高くなく、且つ室内の空気を加熱するだけの対流式の暖房です。したがって、断熱性能の低い建物では、窓面をはじめ室内の各表面の温度が低いゆえに、エアコン暖房は室内空気温をかなり高めに維持しなければ快適な熱環境が得られないこととなります。これが低断熱住宅ではエアコン暖房が適さない理由と考えられますが、反対に高断熱住宅であれば、こうした欠点は目立たないということになります。

ご存知の通り、エアコンの熱源にはヒートポンプが用いられています。ヒートポンプは、大気中の熱を汲み上げて暖房を、大気に熱を捨てて冷房を行うため、コンプレッサーに投入される電気エネルギーより大きな熱エネルギーを得ることができます。ヒートポンプは、近年、インバーターの導入やコンプレッサーの改良などによってかなりの技術革新が行われ、エネルギー効率が大きく向上しました。そのため、図2に示すように、

図1 新築住宅における省エネ判断基準適合率¹⁾

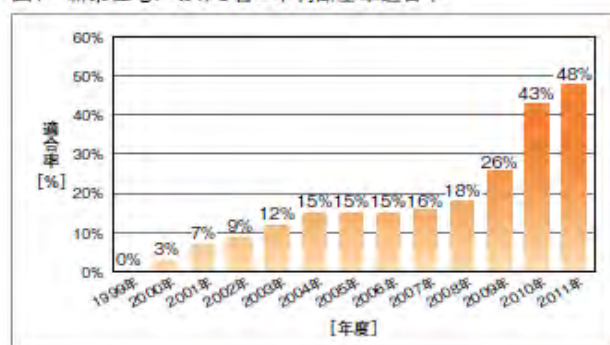
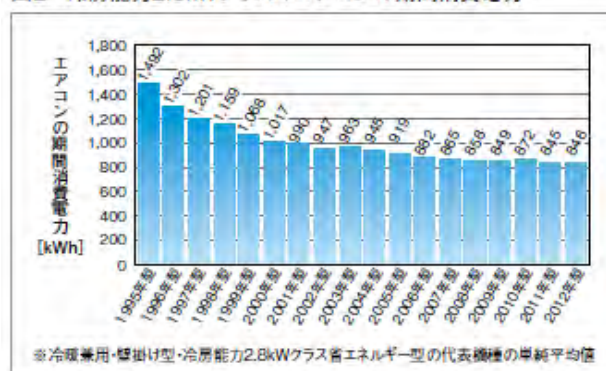


図2 冷房能力2.8kWクラスのエアコンの期間消費電力²⁾



※冷房専用・壁掛け型・冷房能力2.8kWクラス省エネルギー型の代表機種種の単純平均値

エアコンの期間消費電力はこの10数年でかなり小さくなりました。近年発売されている壁掛エアコンでは、APF(通年エネルギー消費効率)が7を超えるような製品も発売されています²⁾。図3に様々な暖房システムの1次エネルギー消費量を示しますが、エアコン(この図の中では「ルームエアコンディショナー」)は、エネルギー消費量が小さく大変効率がよいことが示されています。さらに、エアコンは元々冷房用に開発された機械ですので、もちろん冷房にも使用できます。また、いわゆる売れ筋である住宅用の小型壁掛エアコン(2.2kWクラス)は、家電メーカーの激しい競争のお蔭で、高効率であるにも拘わらず価格がお手頃というメリットがあるのです。ですから、このように大きな飛躍を遂げた小型壁掛けエアコンを活用することは理にかなった選択ということが言えます。

1.2 高断熱住宅における全館空調の可能性

住宅の温熱環境に対しては快適性の面からだけではなく、居住者の健康の面からも問題意識を持つ必要があります。部屋間の大きな温度差や10℃にも達しない低温は、ヒートショックによる血管障害や入浴中の溺死の原因となる場合があるようです。こうした温度差や低温は、基本的には高断熱の建物にすれば解消される方向に向かいますが、生活空間全体を暖房して、寒いスペースをつくらないという発想も必要です。これを実現するものが全館空調システムです。全館空調による暖冷房は、住宅内部を均一な温度にして、快適な温熱環境を形成します。この効果は建物の断熱性能と強い相関があり、断熱性能が高いほど建物内の温度差は小さくなり、建物全体の熱負荷も小さくなると言えます。日本の住宅全般を考えたとき、高断熱化と共に、全館空調による年間を通した建物内部の快適化も同時に成し遂げることが有効であり、可能であると思われます。高断熱にするのであれば、同時に全館空調システムも導入することによって、一年中快適な温熱環境が低燃費で実現され、豊かな住環境を享受することができるのです。

住宅の全館空調システムは、日本でも珍しいものではありません。北海道では建物全体を暖房するという事は昔から当たり前ですし、冷房も必要な関東以西においても、家電メーカーなどはエアコンを熱源とするダクト空調システムを販売してきました。しかし、今までの全館空調システムには、以下のような問題点が指摘されており、販売量がそれほど伸びず、全国的な普及にはほど遠いのが現状であると言えます。

① 導入のための初期コストが非常に高い。

- ② 高断熱の建物でなければ、全館空調は連続運転になるせいもあって、部分間欠空調に比べ、図4に示すように年間暖冷房負荷が大きくなり、暖冷房費が非常に高くなる。
- ③ 熱源機器やダクト等の設置スペースが必要になるので、狭小な住宅では導入が困難になる。
- ④ メンテナンスや機器・部品交換などに対する対応が不十分である。

このような問題点を克服し、高断熱住宅と全館空調システムをセットで普及させることが筆者らの大きな目標です。上記の問題点を克服した全館空調システムの事例として、本稿では、まず次章で「yucaco(ユカコ)システム^{注1)}」を紹介し、「理屈」を言うより、「現実」を見た方が分かりやすいと思うからです。yucacoシ

注1 yucaco システムは” your uniformed conditioned air configuration” の頭文字を取って命名されましたが、厳密な定義はありません。必要なアイテムは、①高断熱・高气密、②エアコン(できれば1台)による全館空調、③床チャンバー方式、の3点ですが、③は絶対必要とも言い切れません。

図3 様々な暖房方式の一次エネルギー消費量³⁾

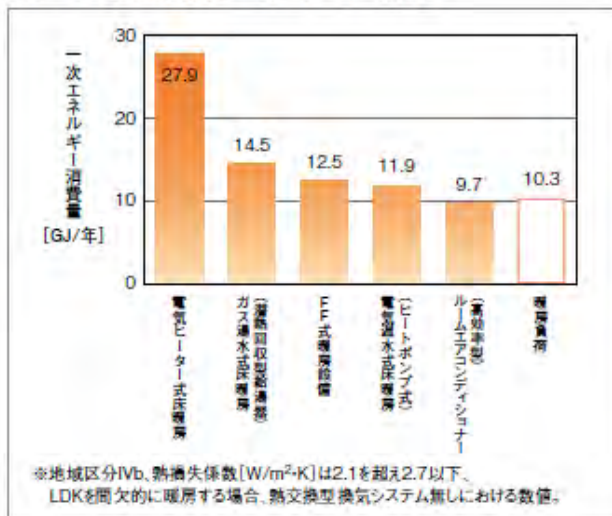
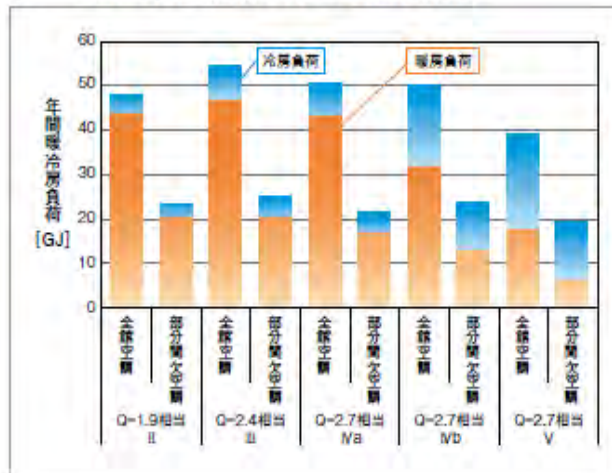


図4 全館空調と部分間欠空調の年間暖冷房負荷³⁾



システムは、壁掛エアコンを用い、床下を空調用チャンバーとして利用した全館空調システムです。このシステムは、初期コストもランニングコストもお手頃な価格になるので、普及性の高いシステムと言えます。また、3章ではこの yucaco システムを簡易に設計する手法についても紹介します。

2. yucaco システムの事例

yucaco システムのように、家庭用エアコンの空調空気を建物全体に送り込んで全館空調を行う方式はすでに数多くの事例があります。例えば、「マッハシステム」⁷⁾は、すでに全国で1000棟近く導入されていると言われています。これ以外にも、エアコンを床下において暖房を行うなどの試みが行われていますが、多くは理論的裏付けに不安を抱えているものと想像されます。

2.1 建物の概要と設計の要点

ここで紹介する yucaco システムの事例は、東京都三鷹市(住宅事業建築主基準ではIVb 地域)に導入したI邸の例です。I邸は木造軸組工法で建てた延床面積が132.84㎡の2階建の住宅です。図5に平面図、図6に断面図と空調システム、図7に建物内外の写真を示します。I邸は、省エネルギーを考慮しつつ、年間を通じて住宅全体を快適な温度に維持するために、下記の点に留意して設計しました。

- ① 高断熱・高气密な仕様とする(Q値=1.3W/(㎡・K)、C値<1cm²/㎡)。
- ② 冬の日射取得のために、南面の吹抜に大きな開口部を設けるが、夜間や曇天時の熱損失を軽減するために室内側に和障子を設ける。また、夏の日射遮蔽のために、軒先にゴーヤを植え、緑のカーテンとして使用する。

③ 1階の床下空間を基礎断熱によって熱的に閉鎖し、空調のための床チャンバーとして活用する。これによって、吹抜の床表面温度が暖房時は高く、冷房時は低くなるので、床面からの放射効果により居住者の快適性が向上する。

④ 空調の熱源には高効率な壁掛エアコン(1台)を採用し、空調室に設置する。

⑤ 壁掛エアコンで創られた空調空気を高効率ファンによって床チャンバーや階間スペースなどに分配し、建物全体を空調する。

2.2 yucacoシステムの設計

I邸におけるyucacoシステムの設計の進め方について紹介します。I邸のケースでは、システムの設計は、図8に示すように、①空気分配方法の決定、②熱量・風量の決定、③床まわりの仕様決定、の3段階に分けて進めました。

1) 空気分配方法の決定

第一段階として、ある程度建物プランが決まった後に、空調された空気の住宅全体への搬送方法と全般換気の方式について検討を行いました(図6を参照)。まず、小屋裏の物置に壁掛エアコンを設置して空調室として活用し、この空調室と、階間スペースあるいは床下の床チャンバーを接続する建築ダクトを設けることにしました。床チャンバー内へ空調空気を搬送するには、壁掛エアコンに取り付けられているファンだけではパワーが足りないので、建築ダクトの端部に空調のための送風ファンを設置しました。床面には空調用の床吹出口を設けました。

床吹出口から居室へ吹出された空調空気は、居室などを通して吹抜空間に集まり、吹抜上部に設けたレターン口から空調室に戻ります。こうした空気の全体

図5 I邸の平面図



的な流れを十分確保するために、居室と吹抜との間に壁や扉などがある場合は、通気スリットやアンダーカットを設けました。これらの隘路部分は断面積が小さいと大きな圧力損失を生じますが、この圧力損失は10Pa程度(循環風量が2,000m³/hの場合)であることを計算で確認し、送風ファンの選定を行いました。

全般換気については、全熱交換器付きの第1種換気装置を空調室に設置しました。これによって、新鮮な外気は排気と熱交換してから空調室に供給され、その後、空調用の送風ファンによって建物全体に搬送されることになります。

2) 熱量・風量の決定

第二段階として、温熱計算シミュレーションソフト(AE-Sim/Heat Ver.3.04⁴⁾)を用いて熱負荷や搬送熱量、送風風量などの検討を行いました。I邸の高断熱仕様をこのソフトに入力しました。その上で、壁掛エアコンが置かれている空調室を一定の温度として、送風ファンで空調室から各居室に空気が移動するという設定をして、温熱シミュレーションを行い、空調システムの設計に必要な検討を行いました。

夏期に空調室の温度を低くし過ぎると、空調室の内装等で結露が発生する恐れがあります。そこで、空調室の設定温度を23℃および25℃にした場合の空調室の相対湿度を、まずシミュレーションによって確認しました。その結果、図9に示すように、空調室の設定温度は25℃であれば、空調室の相対湿度は90%以下となり、結露は発生しないことが確かめられました。よって、冷房時の空調室の温度は25℃として、空調システムの設計に必要な計算を行うことにしました。なお、暖房時は十分な暖かさを感じるように、空調室の温度は26℃として計算しました。

次に、住宅全体を循環する風量を検討しました。この循環風量は、暖房負荷及び冷房負荷を両方とも処理できるように設定する必要があります。循環風量を500m³/h～2,000m³/hに変化させてシミュレーションを行い、リビング温度について図10のような結果を得ました。つまり、循環風量は2,000m³/hを確保すれば、リビング温度は冷房時28℃以下、暖房時22℃以上にほぼ維持されることが分かります。したがって、2,000m³/hの風量を確保するために、送風ファンは強運転で1台あたり200m³/hの風量を供給できるDCモーターファンを10台設置することにしました。

最後に、上の検討において決定された条件の下でシミュレーションを行い、空調室の最大熱負荷を計算しました(エアコンは空調室だけに設置されるので、空調室の熱負荷が建物全体の熱負荷となる)。その結

図6 断面図と空調システム

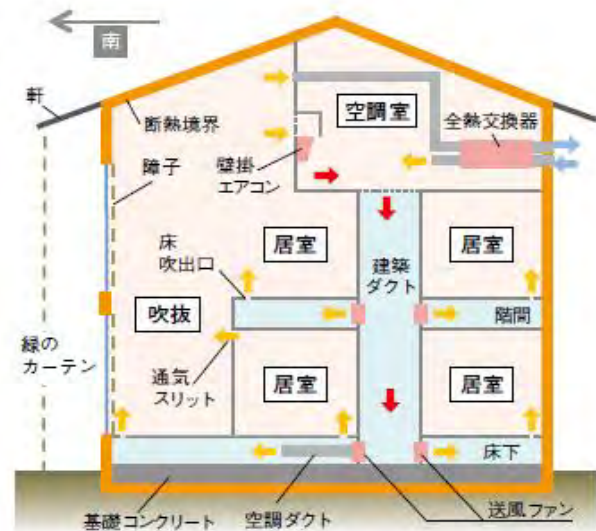
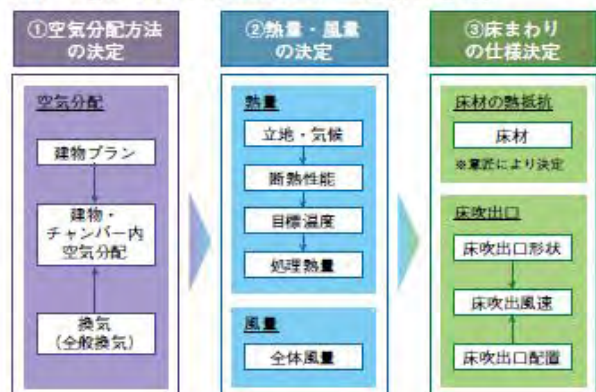


図7 I邸の写真



図8 I邸におけるYUCACOシステムの設計の進め方



果は、図 11 に示すように、暖房・冷房共に 9,000J/h (=2.5kW)程度となりました。この結果に従い、壁掛エアコンは 10 畳用(冷房 2.8kW, 暖房 3.6kW)を選定しました。また、年間負荷は暖房 14.2GJ, 冷房 9.5GJ と計算されました。これは、図 4 に示したIVb 地域における $Q=2.7W/(m^2 \cdot K)$ の建物に対する部分間欠空調の場合の暖冷房負荷とほぼ同等の数値です。I 邸は高断熱($Q=1.3W/(m^2 \cdot K)$)なので、全館連続空調を行っても年間暖冷房負荷はそれほど大きな数値にならないことが分かります。

3) 床まわりの仕様の決定

yucacoシステムは床チャンバー方式ですので、床表面からの放射効果も利用して快適な暖冷房を行うことができます。この放射効果を高めるには、床材の熱抵抗を小さくした方が効果的と思われませんが、限界があります。I 邸では、床材は意匠面から、構造用合板 24mm+床板(無垢)15mm が選定されました。また、一般に床暖房においては、無垢の床材は使用できないことが多いのですが、yucacoシステムでは床表面温度が床暖房ほど高くないため、無垢の床材でも問題はありません。

床吹出口については、居住者が気流による不快感を抱かないようにするために、吹出風速を抑える配慮が必要です。I 邸では、床吹出風速が 1m/s 以下となるように、床吹出口の開口サイズを設定しました。また、窓際でも良好な熱環境となるように、窓近くの床面に吹出口を設けました。

2.3 実測によるyucacoシステムの検証

1) 実測の概要

I邸におけるyucacoシステムの運転実態と性能を検証するために、温湿度ロガーおよび電力計を取付け、外気温や室内各所の温度、およびエアコンと送風ファンの消費電力(つまり暖冷房用の消費電力)を1年間測定しました。測定の詳細を表1に示します。測定されたデータは、グラフ化され、yucacoシステムの性能が検証されました。

2) 温熱環境と暖冷房用消費電力

夏期冷房時の各箇所の温度と、エアコン及び送風ファンの消費電力を図12に示します。外気温は25℃~35℃程度となっていますが、建築ダクトの温度は25℃~27℃程度、各居室の温度は27℃~29℃ではほぼ一定となっており、室間温度差、時間温度差とも小さくなっています。消費電力は、エアコンとファンをあわせて400W~500W程度で、あまり変化せずほぼ一定になっています。

図9 空調室の相対湿度(冷房時)

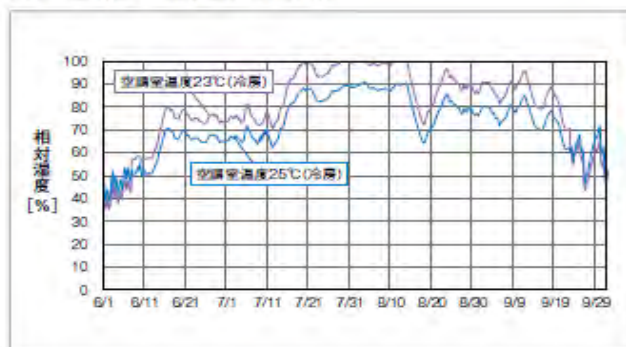


図10 風量による実現室温の違い

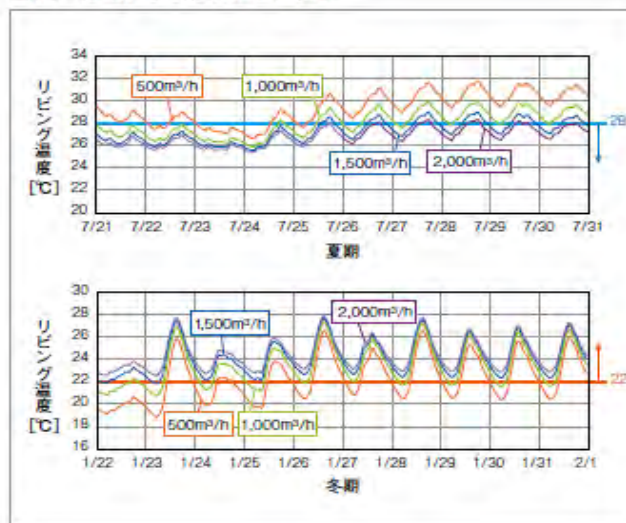


図11 暖冷房負荷計算結果

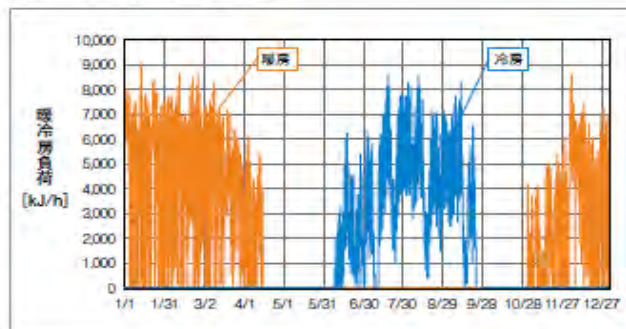


表1 測定の詳細

項目	温度		電力量
測定対象	外気	洗面所、寝室、子供部屋1、リビング、レターン、リビング床下、建築ダクト	エアコン、送風ファン(10畳分)
測定間隔	1分	10分	10分
測定器	温湿度ロガー T&D RTR-53	無線温湿度センサ omron EW620	無線電力計センサ omron EW630
測定期間	2012年5月1日~2013年4月30日(1年間)		

※外気温データに欠測がある場合は、アメダス(府中)の温度にて補完。
 ※電力計データに欠測がある場合は電力計(ワイプロダクト-分電盤計測装置)にて補完。

次に、冬期暖房時における同様なデータを図 13 に示します。外気温は -5°C から 10°C まで上下していますが、建築ダクト内は 22°C ～ 25°C 程度となっています。各室の温度は 19°C ～ 21°C となっており、室間温度差も時間変動も小さくなっています。一般に南面窓の大きな部屋で冬期の日射取得によって室温が上昇しオーバーヒート状態になることがありますが、I 邸の場合は空気を循環させているので、このような温度上昇は目立たず、室間温度差は小さく抑えられています。なお、1 月 17 日の午前中は、エアコンが除霜運転を行ったために温風が停止してしまい、建築ダクトの温度が上下に乱れましたが、建物の断熱性が高いためその影響は室温にはほとんど表れず、各室の温度はほぼ一定に保たれていたことがわかります。

また、エアコンとファンの消費電力は、外気温とは反対の変動をしていて、外気温が高くなると減少し、低くなると増大しています。消費電力の変動幅は 200W ～ $1,000\text{W}$ 程度です。

図 14 はレターン温度とリビング床下温度の日平均値の年間推移を示したものです。リビング床下温度はレターン温度に比べて暖房期は高く、冷房期は低くなっており、空調空気が床下を通過している効果が表れています。レターン温度は、冷房期は 26°C ～ 29°C 、暖房期は 21°C ～ 22°C におさまり、年間を通して住宅内が快適な温度に保たれていることがわかります。

3)暖冷房用のエネルギー消費量と電気料金

エアコンと送風ファンの月別消費電力を図 15 に示します。この消費電力は空調に使用した電力と考えられますが、冷房時は 70kWh ～ 210kWh /月程度、暖房時は 80kWh ～ 370kWh /月程度となりました。なお、中間期はファンのみの稼働ですが、 30kWh /月程度でした。

年間の消費電力量が分かれば、暖冷房用の一次エネルギー消費量が計算できます。I 邸において実測された暖冷房用一次エネルギー消費量と住宅事業建築主基準におけるこの量の基準値とを比較し、図 16 に示します。I邸の実測結果は、冷房においても暖房においても、基準値との比較では、全館連続運転ではなく部分間欠運転の消費量に近いことがわかります。部分間欠運転の基準値は本州以南の標準的な消費量とみなしてよいでしょうから、I邸レベルの高断熱建物と高効率の空調システムであれば、現在の標準的なエネルギー消費量でもって、全館連続暖冷房の快適性を実現できると言えます。

続いて、月別の暖冷房用の電気料金について図 17 に示します。I 邸では深夜電力を使用する料金プラ

図12 各所の温度および電力量実測結果 (冷房)

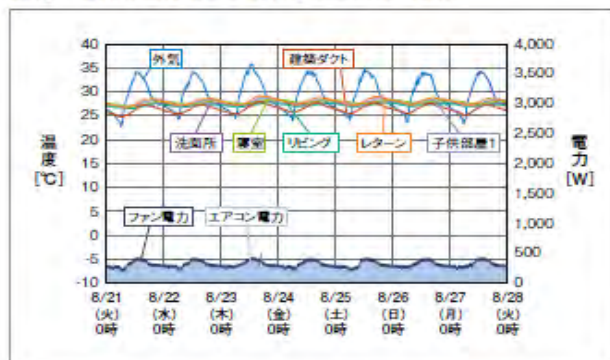


図13 各所の温度および電力量実測結果 (暖房)

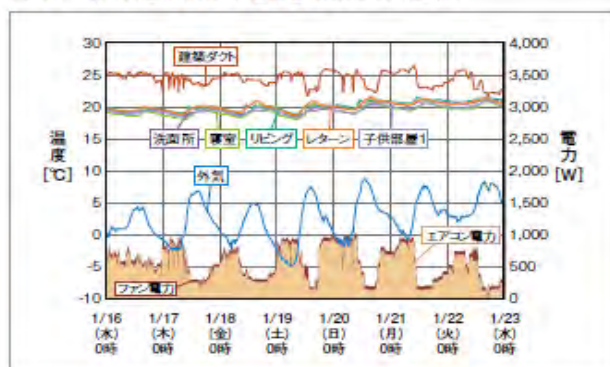


図14 レターン温度とリビング床下温度の日平均値

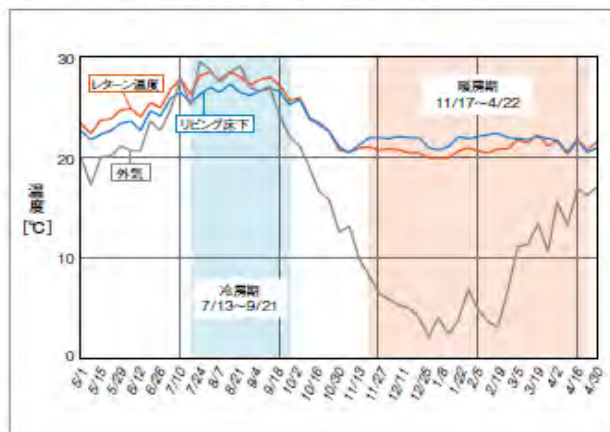
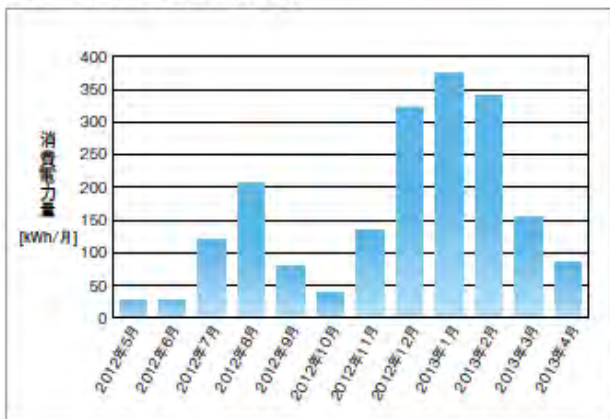


図15 月別の暖冷房用消費電力



ンであるため、電気料金の単価は使用する時間帯によって異なります。一般の家庭と比較する場合、この点に注意が必要ですが、I邸の暖冷房用の電気料金は、冷房時の最大で5,000円/月程度、暖房時の最大で8,000円/月程度であり、年間で約42,000円となります。この料金は全館連続空調を行っている割には安い料金であり、高断熱とyucacoシステムによる高いパフォーマンスが発揮されていると言えます。

2.4 I邸の事例のまとめ

以上、I邸という具体的な事例を紹介して、yucacoシステムの設計や性能検証について述べました。yucacoシステムは、高断熱・高気密という前提条件が重要ですが、30~40坪の通常の広さの住宅であれば、100万円強の初期コスト増と年間5万円程度の空調費でもって快適な全館空調を実現するものです。ですからyucacoシステムは、従来の高コストの全館空調システムと比較すると、かなり改善された普及型の全館空調システムであると言えます。

ここで紹介したI邸の例ではyucacoシステムは温熱シミュレーションを使うなど、かなり高度な設計手法を用いて設計がなされました。しかし全ての物件で温熱シミュレーションを行うのはハードルが高すぎると思う方もいるので、次の3章ではもう少し簡単な手法でyucacoシステムを設計する手法について述べます。

3. yucacoシステムの簡易な設計法

yucacoシステムは高断熱・高気密を前提にした全館空調システムで、通常の広さの住宅であれば1台のエアコンで建物全体の熱負荷を処理するように設計されるものです。それでは、どのくらい断熱すれば、どのくらいの能力のエアコンが1台で済むのか、また空調のための循環風量はどのくらい必要になるのか、などについて簡単な計算や図表を使って大よその目安を得る方法をここで紹介します。

3.1 空調空気の循環経路と圧力損失

yucacoシステムの設計においては、図8に示した通り、空調空気の循環経路を決めることが第一段階です。この循環経路の決定にあたっては、圧力損失が大きくなる箇所をつくらないようにすることが重要です。そのためには、空気の流路（ダ

図16 年間の暖冷房用一次エネルギー消費量³⁾

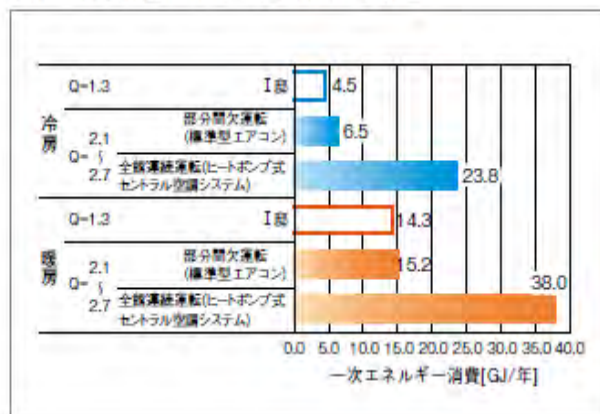
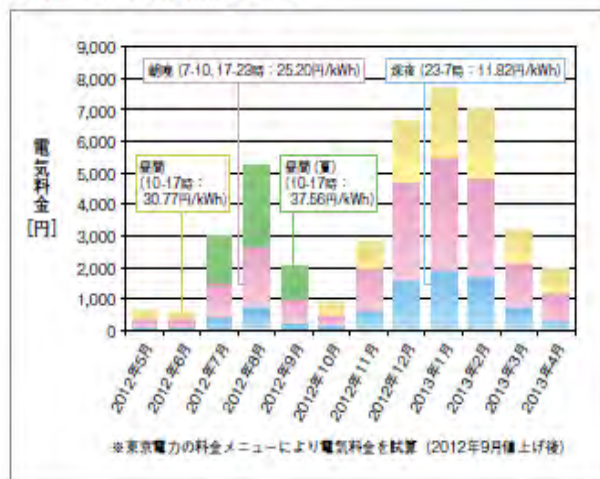


図17 月別の暖冷房用電気料金



クトや開口)の断面積を極端に狭くしたり、曲がりや何箇所もつুক্তたりしないことが重要です。

圧力損失は流路の平均風速の2乗に比例し、平均風速は同じ風量であれば、直径や一辺の2乗に逆比例しますから、結局、圧力損失は直径や一辺の4乗に逆比例することになります。ですから、例えば、風量が2,000m³/hとして、直径が40cmの吹出口で圧力損失が仮に6.25Paであり問題がなくても、直径を半分の20cmにすると、圧力損失は16倍の100Pa(吹出口の流量係数は変わらないとする)となるので、送風ファンはよりパワフルなものに変更せざるをえなくなります。ですから、流路の断面積、つまり、ダクトや吹出口、開口などの面積(サイズ)は必要な風量に対して十分な面積であるかどうか十分に注意を払うことが肝要です。例えば、ドアのアンダーカットや通気スリットの断面積や幅には十分気を使うべきです。

3.2 外皮性能とエアコン容量

空気の循環経路が決まれば、設計の第二段階と

してエアコンを選定することになります。このエアコンの選定においては、暖房においても冷房においても建物の最大熱負荷を上回る最大能力を有するエアコンを選定することになります。現在日本で販売されている高効率のエアコンは、いわゆる2.2kW級のものであっても、最大能力は冷房では3kWを超えるものがほとんどです。この設計法では、この2.2kW級のエアコン1台でyucacoシステムを設計することを考えてみます。床面積がより大きな建物の場合などは、この考え方は当然当てはまらなくなりますので、最大能力のより大きいエアコンや複数の2.2kW級エアコンを選定することになります。

今、仮にエアコンの最大能力を暖房も冷房も3kWとします。建物については、簡単のために、床面積($S[m^2]$)を100 m^2 と仮定しておきます。すると、前述の選定条件より、床面積あたりの熱負荷は30W/ m^2 (3000W \div 100 m^2 より)以下にしなければなりません。ですから、この30W/ m^2 以下という値が1台のエアコンで建物全体を空調しようとするときの、熱負荷側の大よその目安となります。

次に、熱負荷を30W/ m^2 以下にするための断熱性能と日射遮蔽性能について、大まかに考えます。断熱性能は熱損失係数(Q 値(W/ $[m^2 K]$))、日射遮蔽性能は日射取得係数(μ 値)で表されるとします。連続空調が条件ですから、床面積当たりの最大暖房負荷($Lh[W/m^2]$)を以下のような瞬時定常の負荷で計算しても大きな誤りにはならないでしょう。

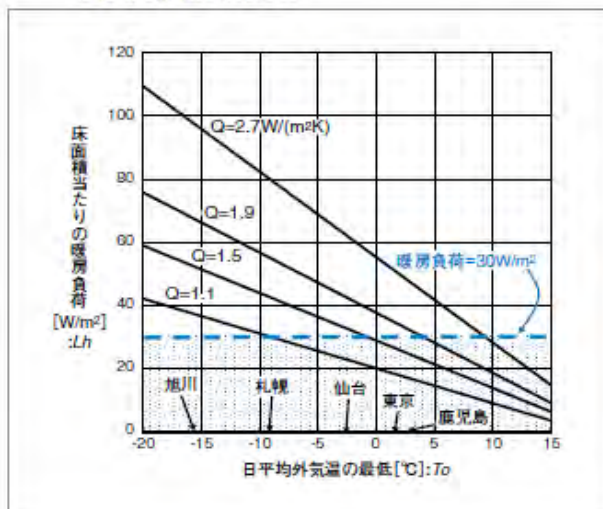
$$Lh = Q (Tr - To) - G \quad \dots (1)$$

ここで、 Tr =室温、 To =外気温、 G =床面積当たりの内部発熱量であり、日射熱取得は Lh を過小評価しないために無視しました。 $Tr=22^\circ C$ 、 $G=4W/m^2$ と仮定し、 To を日平均気温の最低値と見なした時の、 Lh と To の関係を Q をパラメーターとして描いたチャートが図18です。このチャートを使えば、30W/ m^2 以下という条件を満たすための Q 値を、全国の都市別に読み取ることができます。東京では、条件を満たす Q 値は1.7W/ $m^2 K$ 以下となります。

更に、床面積当たりの最大冷房負荷($Lc[W/m^2]$)について考えましょう。連続冷房が条件ですから、蓄熱負荷は無視して、 Lc を次式で与えることにします。

$$Lc = Q (To - Tr) + \mu J + G \quad \dots (2)$$

図18 各都市の日平均外気温の最低値から暖房負荷または必要な Q 値を読み取る図



ここで、 J =日平均水平面日射量[W/ m^2]です。冷房負荷が暖房負荷より大きくなるので冷房負荷を検討しなければならなくなる地域は、日本では関東・北陸以西と言えましょう。東北以北では空調システムは暖房で決まると考えてよいでしょうから、冷房はそれほど重大に考える必要はないでしょう。さて、関東・北陸以西では、気象データを眺めると、年間最高気温や夏期日射量にそれほど大きな地域差がないことが分かります。ですから、上式における外界気象条件を以下のように固定して与えても大きな問題にはならないでしょう。最高に暑い一日を想定して、 $To=32^\circ C$ 、 $Tr=26^\circ C$ 、 $J=225 W/m^2$ 、 $G=4W/m^2$ を(2)式に代入すると、(3)式が得られます。

$$Lc = 6Q + 225\mu + 4 \quad \dots (3)$$

Q を横軸、 μ を縦軸にとって Lc の等値線を描くと図19のようになります。冷房も暖房と同一のエアコンを使用して行うことを想定すれば、エアコン選定のための冷房負荷は、暖房負荷と同様に、30W/ m^2 以下にする必要があります。図19を見れば、そのために必要な Q 値と μ 値の組み合わせを読み取ることができます。実際は、上述したように、暖房負荷の制限から日平均気温の最低値に応じて Q 値が定められますので、そのあとで図19を用いて冷房負荷の条件を満たすように μ 値を決定することになります。

なお、エアコンによる冷房では冷却と同時に除湿もなされ、その負荷(潜熱負荷)のためにも電気エネルギーが消費されます。現代の工学ではこの潜熱負荷の処理についても精緻な計算を行うことができますが、ここでは省略します。ですから、

(3)式で冷房負荷が算定されますが、実際のエアコンではその冷房負荷の数割は潜熱負荷になっており、絶対湿度が低下すると考えられます。それに伴い、顕熱負荷の方は小さくなるので温度は反対に上昇することになります。

3.3 循環風量と搬送システム

エアコンが選定されれば、次に送風ファンを選定しなければなりません。送風ファンの選定のためには、エアコンによる空調空気の循環風量を定めなければなりません。これはそれほど難しいことではありません。床面積当たりの最大暖房負荷と最大冷房負荷については、上述したように、共に 30W/m²以下にすることになっていますから、いま仮に 30W/m²であると仮定します。次に、エアコンを設置する空調室の室温を定めます。空調室の室温制御はエアコンのサーモスタットを利用して行いますから、あまり極端な温度にはできません。また、2章でも述べたように夏場は低過ぎる温度に設定すると、結露の危険も生じますので、居室の室温とは±4~6Kの温度差にするとよいでしょう。温度差(ΔT[K])を仮に 4Kと仮定しますと、居室の暖房室温が 22℃の場合、空調室は 26℃になります。また、冷房では冷房室温を 26℃に仮定した場合、空調室は 22℃^{注2}になります。ですから、循環風量(V[m³/h])は(4)式で求められることとなります。

$$V = (Lh \text{ or } Lc) \cdot S / (Cv \Delta T) \quad \dots (4)$$

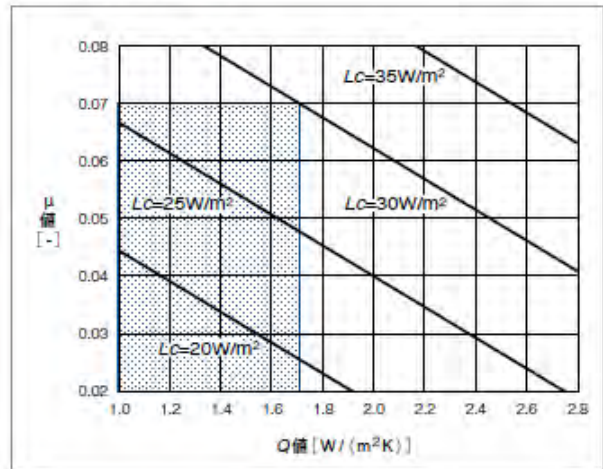
ここで Cv は空気の容積比熱で、常温では、Cv = 0.35Wh/(m³・K)を与えます。Lh=Lc=30W/m²、ΔT = 4K、S=100 m²を(4)式に代入すれば、循環風量は、

$$V = 30 \times 100 / 0.35 / 4 = 2143 \text{ m}^3/\text{h}$$

となります。

要するに、空調用の送風ファンの循環風量は最大でも 2,200 m³/h 程度あればよいこととなります。したがって、後はこの風量を供給する能力を持った送風ファンを選定すればよいのですが、そのためには空調空気の循環経路全体における圧力損失も推定しておかなければなりません。圧力損失は、ダクトの摩擦損失や吹出口・ドアのアンダーカットなどの圧力損失から構成されます。3.1 で述べた注意を守って空調空気の循環経路を設計すれば、通常の広さの住宅ではこの圧力損失は数 10~80Pa 程度と見積もられます。静圧をこの圧力以上に保って、且つ、風量が 2,200 m³/h になる送風ファンを選択すればよいのです。もちろん、業務用

図19 一般地においてQ値とμ値から床面積あたりの冷房負荷Lcを読み取る図(トーン部分は東京を想定したときのQ値とμ値の範囲)



の換気・空調ファンの中には1台でも能力がこの条件に合致するものが数多くあります。しかし、yucaco システムでは、安価な直流モーター小型ファンを複数台、設置することを推奨します。その理由は、1台きりの送風ファンで多数の室に送風をしようとする、ファンのモーター出力やダンパーなどを細かく正確に制御しない限り、各室が要求するそれぞれの風量を正確に送ることが難しくなるからです。もちろん、近年のVAVシステム(可変風量方式)を導入して送風すれば正確なものでしょうが、初期コストが高くなってしまいます。yucaco システムで用いる複数台の小型ファンは手動制御ですが、1台ごとに3段階、風量を制御できます。また、小さな室やスペースに対してもこのファンを割り当てれば、確実に空調空気を送ることができます。

たとえば、静圧が 80Pa でも 220 m³/h の風量を供給できる小型ファンが販売されていますので、これを 10 台、並列に設置すれば、全風量が 2,200 m³/h となりますので、所定の循環風量(2,200 m³/h)を満足することができます。また、消費電力も弱運転で 11W/台であり、電気代も嵩みません。

注2 これは2章で紹介したI邸の設計のときの温度(25℃)より低い温度になります。確かに、外気の露点を調べますと東京でも 25℃くらいになるところがあります。しかし、露点が 25℃の外気が 22℃の空調室に侵入しても空調室の空気の露点は 20℃以下にはなっているでしょうから、すぐに結露するわけではありません。では空調室の温度は何℃まで冷やしても結露が発生しないか、これはなかなか難しい問題です。気候にも影響されますので、今後の研究課題となりますが、とりあえずは問題のない温度は 22℃までとしておきます。

3.4 年間電力消費量とランニングコストの推定

yucaco システムにおける空調用のランニングコストを推定してみます。まず、年間の暖房負荷と冷房負荷を推定します。住宅の年間暖冷房負荷については、省エネ基準の策定作業などを通じてかなりシミュレーションが行われ、多くの知見が蓄積されていますので、その知見を利用することにします。

3.2 や図 18 で示したように、yucaco システムでは地域の外気温に応じて Q 値に対する最大値を定めていますので、その Q 値に応じて年間暖房負荷の最大値がほぼ決まります。yucaco システムでは全館連続空調という設定ですから、参考文献 3) の p59 を参照すれば年間暖房負荷は寒冷地で床面積当たり 200MJ/(㎡年)以下、一般地で 150MJ/(㎡年)以下と推定できます。また、同文献の p61 を参照すれば年間冷房負荷は、μ 値を省エネ基準の基準値より少し小さな 0.06 以下にすれば、寒冷地では最大でも 50MJ/(㎡年)、一般地（ただし、沖縄県や南方の島嶼は除きます）で 150MJ/(㎡年)程度と想定できます。その結果、暖房と冷房を合わせた年間暖冷房負荷は最大でも、寒冷地で 250MJ/(㎡年)、一般地で 300MJ/(㎡年)と推定されます。

次に、エアコンの年間平均 COP を想定します。高効率の小型壁掛エアコンを想定して、年間平均の COP は寒冷地で 4.0、一般地域 5.0 とします。そうすれば、結局、床面積当たりの年間消費電力は、寒冷地で $250\text{MJ}/(\text{㎡年}) \div 4.0 = 62.5\text{MJ}/(\text{㎡年}) = 17.4\text{kWh}/(\text{㎡年})$ 、一般地で $300\text{MJ}/(\text{㎡年}) \div 5.0 = 60.0\text{MJ}/(\text{㎡年}) = 16.7\text{kWh}/(\text{㎡年})$ となります。両者で大差がないので、エアコンの年間消費電力は $17\text{kWh}/(\text{㎡年})$ としておきます。

最後に、床面積を 100 ㎡と仮定して、建物全体の空調用の年間消費電力を計算してみます。エアコンの年間消費電力は、 $17\text{kWh}/(\text{㎡年}) \times 100\text{㎡} = 1700\text{kWh}/\text{年}$ になります。送風ファンは、前述したように、小型のものが 10 台取り付けられ、1 台あたりの消費電力は 11W/台で冬と夏はほぼ常時運転されると仮定します。しかし、春秋は停止することを考えれば、年間稼働率は 50%程度と見なされます。結局、送風ファンの消費電力は、 $11\text{W}/\text{台} \times 10\text{台} \times 8760\text{h}/\text{年} \times 0.5 = 481\text{kWh}/\text{年}$ となります。また、24 時間換気用の消費電力は、20W と仮定しますと、その年間消費電力年間は $20\text{W} \times 8760\text{h}/\text{年} = 175\text{kWh}/\text{年}$ になります。

以上より、空調用の消費電力は、 $1700 + 481 + 175$

$= 2356\text{kWh}/\text{年}$ となります。電力単価を 23 円/kWh とすれば、空調用の電気代は $2356\text{kWh}/\text{年} \times 23\text{円}/\text{kWh} = 54,188\text{円}/\text{年}$ となります。これは 2 章で紹介した I 邸の実際の代金よりやや高い値段になりますが、I 邸では 24 時間換気の電気代が含まれていないこと、及び、電気料金の単価が両者で異なることが原因であると思われます。ですから、ごくごく大雑把に言ってしまうと、yucaco システムの空調・換気用のランニングコストは、全国ほぼ一律で、約 5 万円/年であると言えます。

4. YUCACO システムの課題

yucaco システムは若いシステムですので、まだ発展途上にあると考えられます。本稿では戸建て住宅の例を紹介しましたが、集合住宅にも採用例がいくつかあります。また、送風ファンを 1 台として VAV 制御で運転するシステムも実在します。今後はこうしたヴァリエーションを拡大すること、更なるローコスト化を実現し、yucaco システムが普及しやすい状況をつくっていくことが肝要であると思われます。もちろん、地域や建設地によっては夏期の結露やフィルター清掃などのメンテに対して課題があるかもしれません。

重複になりますが、とにかく「100 万円程度の初期コスト増によって、快適な全館空調を年間 5 万円程度の空調費でもって実現する」というのが、yucaco システムのキャッチフレーズです。そして、このフレーズは、高断熱・高气密、高効率エアコン、高効率ファン、床チャンバーによって成立するのです。

【参考文献】

- 1) 国土交通省：第10回住宅・建築物の省CO₂シンポジウム資料, 2012. 8
- 2) 資源エネルギー庁：省エネ性能カタログ 2010 夏版～2013 夏版, 2010. 7～2013. 8
- 3) (財)建築環境・省エネルギー機構：住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説, 2010. 3
- 4) 国土交通省：京都議定書目標達成計画の進捗状況の点検, 2012. 11
- 5) (株)建築環境ソリューションズ:AE-Sim/Heat 操作マニュアル, 2010
- 6) yucaco システム研究会ホームページ：
<http://www.yucaco-system.com/>
- 7) MaHAt システムホームページ：
<http://www.marushichi.co.jp/system03.html>