技術のページ

コミッショニング事始め（９）

自動制御管理文書（１）

･･･自動制御設備設計の意義と空調設計者の役割

中原信生(NESTEC)

セントラルシステム

自然環境と人間活動の変動との組み合わせによって空調対象室の冷暖房負荷、或いは室の温湿度変動が実現するが、年間に亘って同種の変動をする室を集めて空調のゾーニングをするのが中央式(セントラル)空調システムである。それを考えるのが嫌だから、或いは負荷計算するのが面倒だから、または中央式では個別制御ができないから、と言う理由で個別分散パッケージ方式だけに頼っていると、空調設計の何たるかを忘れる、或いは学ぶ機会を失ってしまう。個別分散方式を否定するものではないが、空調理論、湿り空気状態変化理論、温湿度換気調整・制御を全うさせるシステム設計・制御理論の基本を知らざるままに空気調和の専門家を標榜してしまう困ったことになる。

方位や階別、さらには用途ごとに大枠のゾーニングが為されたセントラル空調機と、各空調機がカバーする空調対象室の組み合わせの中で、空調機制御と個室制御とをいかにうまく噛み合わせるか、を考えるのが空調システム設計の神髄であり、その為に先ずは負荷計算による年間の負荷変動を見ながら複数の室を纏めて空調機ゾーンとする、その上で各室の温(湿)度個別制御と、その元に在る空調機における温湿度と換気機能の調整を、システム全体の省エネルギーを実現させながら充足させることが必要なのである。そこに対象負荷室のゾーニング、ゾーン空調機のベース制御、末端の各室の温(湿)度制御の組み合わせを、省エネルギーという目標を見失うことなく室内環境を適正条件内に納める、そこに最適制御を含む、空調システムの制御が存在する。具体的には年間負荷計算結果による空調ゾーニングの決定、各ゾーン空調機周りの基本制御、末端個室の制御とそれに関わる熱媒(空気・水)並びに搬送機器の制御であり、その制御により生じる結果が同じであれば最大限エネルギー消費量が少なくて済む方法を編み出す、これが制御の役割であり、条件でもある。

このことは空気系だけではなく、水系、熱源系、或いは冷媒系にも及んで良いであろう、システムがセントラル系で有れば必ず同様の考え方で臨まねばならない。但し個別分散方式の場合は関係ないと言うのではなく、システム評価に当たっては同等の条件で比較せねばならないが、両者の間には空調機能として自ずから質的な差が有るので、評価の結果セントラル方式が選ばれればこうなると言うことである。

自動制御設計

さて、言い難いことを口にせねばならない。一般論としてでは有るが、空調設計における自動制御設計のお粗末さ、それは空調設計そのものに対するお粗末さに相通じる。前述のように自動制御は適正な空調のゾーニングの上に中央機械と末端ユニットの調和ある組み合わせの中で、年間負荷変動に対して適正な環境を最小エネルギーで実現させる最下流の設備である。とすれば上流にあるゾーニング、それに基づくシステム及び機器選定が適切で無ければ終わりは全うしない。ということは自動制御設計の基本を構想するのは空調システム設計者であり、システム詳細が出来上がった時はすでに制御の具体像も出来上がっているはずである。それを専門の言葉、或いは記号では書けないとしてもスケッチ図に添えて必要な制御動作を言葉で書きあげることは容易であるばかりか絶対に必要なことである。勿論、常識的に用語とコンセプトが一般化して間違うことのないような場合はその用語或いは記号を示すだけで十分であろう。省エネ類設計を目指す時はそのままでは不十分なこともある。

例えばポンプ群の可変速制御を取り上げてみる。設計図には機器表にポンプ仕様が記述され、台数は 3 台で台数制御＋インバーター制御と書いてある。これだけの表示で設計者は自動制御工事業者に依頼して制御図作成を依頼する。多くの場合、コストの制約は提示されてはいないと考えられる。従って自動制御業者は後でクレームが生じてはいけないし、コストを落とす時は機能も落とす必要が有ることを明示するために、当初は機能が満足と思われる次のような制御図を作製した。

・空調機コイルに二方弁制御
・ポンプ 3 台ともインバーターを搭載（と判断）
・吐出圧力によるインバーター制御
・水量計測による台数制御
・末端差圧計測による吐出設定圧のリセット(疑似末端差圧制御)
・最終段ポンプ締切運転防止のバイパス回路図にもこれ以上のことが書かれてはいない。制御二方弁のサイズや CV 値は無記入、圧力設定値も無記入、台数制御の概念図も描かれてはいない。

これはごく一般的な制御で有るので以心伝心、了解されたとしてこのまま設計図に採用されたとする。空調施工業者の手に亘り、（めでたく）設計を手伝った自動制

御業者が制御工事を請け負ったとする。施工・機器発注の段階で起こり得る、設計ミス、コストダウンの手続き等による以下のような課題が生じ得る。

① 空調機の制御二方弁は配管サイズで選ばれ、CV 値の指定は無し。
② 疑似末端圧制御の取りやめ、或いは疑似末端圧制御のロジックが記述されていない。(言葉だけで実質的効果は無い)
③ インバーター搭載はポンプ 1 台とし、可変速流量制御を分担し、他のポンプは定速運転で台数制御する。
④ その上での変速機と低速機の組み合わせの時の台数制御のロジック、設定値が明記されていない。
⑤ 最終段で動作するバイパス二方弁が過大サイズで、バイパス時に多量の水が流れる。そして低流量に調節しておくべき手動締切弁が設けられていない。

定常運転に入って正常化に見える運転状態に実は下記のようなフォルト(不具合)が生じるであろう。

①’ コストの無駄遣いであると共に制御性が悪く、室温制御、インバーター制御に影響する。
②’ 吐出圧一定制御でインバーター制御範囲が 100～85%程度で狭く省エネ効果が低減。
③’④’ 台数制御時の水量補正動作が不安定で台数がハンチングする。
⑤’ バイパス時に多量の水が流れ、動力の無駄であると共にハンチングの原因になりかねない。手動で低流量にする手段が無い。

理想的に計装され、試験調整が入念に行われれば、負荷変動の程度にもよるがインバーターの回転数は 10%程度まで活用できる。(但しポンプ・ファンのインバーター制御における最低回転数については電磁発熱を考慮すれば 30%程度を下限とすべしという意見もあり、ゼロまで可能とする意見との間で見解が分かれている)。そのような理想ケースに比べて上記のような設計・施工上の不具合が有った場合には年間のポンプエネルギー消費量は(負荷変動状態に依存するが)2～3倍にもなろう。

制御設計のあり方

本来の空調設計プロセスを経れば自動制御のあるべき姿は空調設計者の頭の中には出来上がっている、従って自動制御設計の概念図は設計者自らが書きあげ、制御業者の支援を得るならば計装図面作成と、必要に応じて制御コンセプト(ダイアグラム、文章説明、運転制御モードは設定値のリスト、弁サイズや必要に応じて弁の詳細性能(レンジアビリティーなど)やセンサーの精度の表示などを書きあげて貰うこととするならば、あとで後悔することや、設計者が思っても居なかった不具合に遭遇することも減るであろう。こうした詳細コンセプト文書があれば、施工者、運転管理者に対しても有用であり、筆者はこれを自動制御管理文書と呼んでコミッショニングプロセスのツールの一種であると考えている。

それでは設計者は設計図にどの程度のコンセプトの記述を為すべきであろうか、上述の自動制御管理文書はかなり詳細に亘るので、これは施工フェーズにおいて詳細化すればよいであろう、それによって施工者自体も設計コンセプトを十二分に理解できるようになるからである。設計者自らが作成して欲しい制御コンセプト図として空気調和・衛生工学会発行の「環境・エネルギー性能の最適化のための BEMS・ビル管理システム」において、VAV システム及び蓄熱システムの二種類のモデルシステムに対する記述例を掲載した。ここでは前者について要点を転載する。

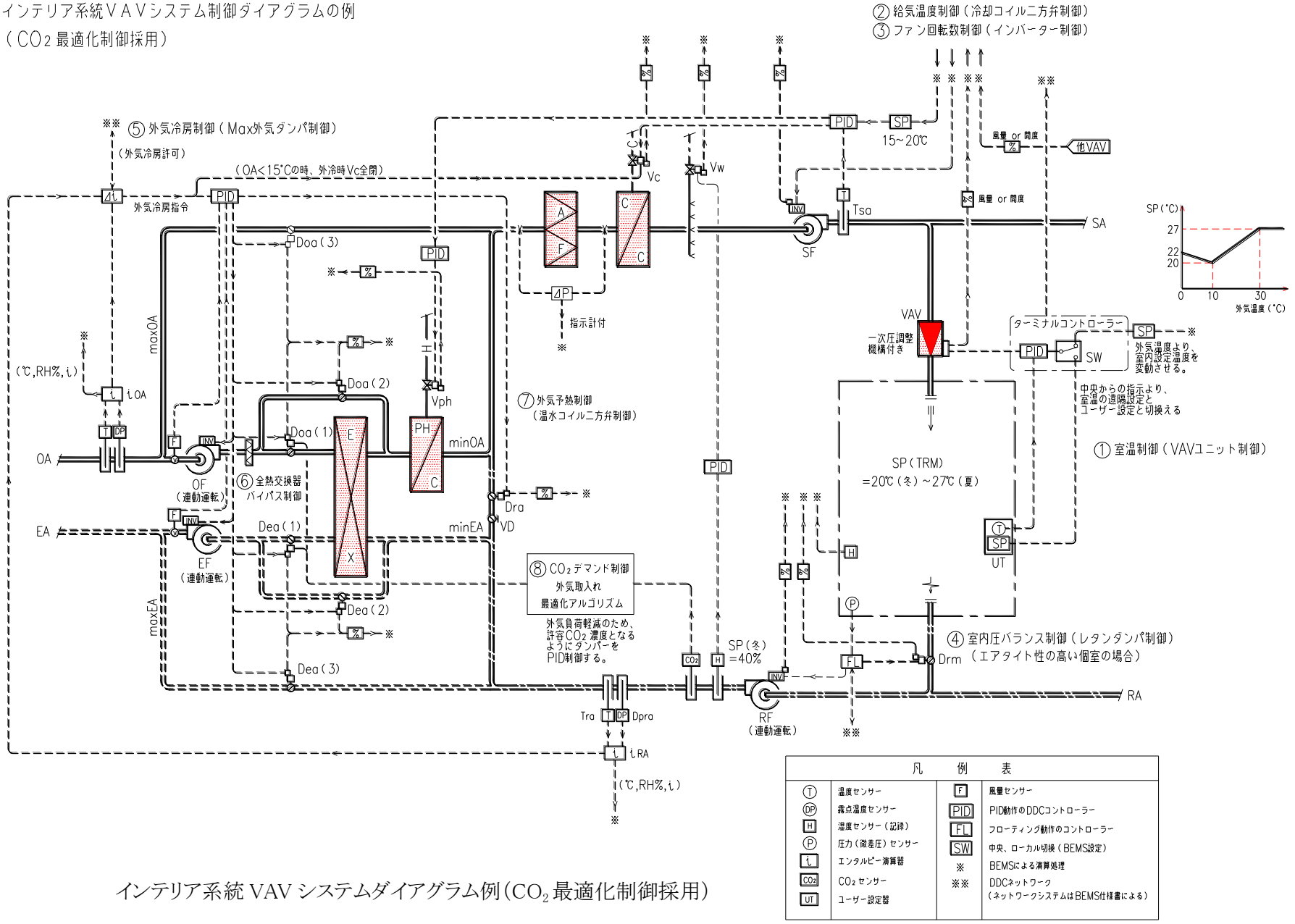
次ページの図はインテリア VAV 系統のシステムダイアグラムに設計者の制御意図を書き込んだものである。ここでは、空調系統に外気冷房に必要となる還気ファン及び最小外気用外気取入ファン、排気ファン及び全熱交換器が設計されているVAVシステムを示し、ペリメーターの影響が無いものとする。空調機は空気分布と室内混合損失防止を考慮して冷風吹出し専用としている。冬期のウォーミングアップについては、別系統のペリメーター空調システムを設けるか、照明器具の事前点灯により対応する。

このモデルシステム制御ダイアグラムに加えて、全体制御フローの記述を文章(ナラティヴと言う)と制御フローで記述するのである。フローの詳細は上記の原書を参照いただきたい。図中の①②等は制御のサブシステムを示す。①、②はどのようなVAVシステムでは必須の制御であるが、③は採用するシステムによってはオプション対応となる場合もある。CO_2 濃度による外気取入れ最適化制御については、VAVシステムに限らず共通の問題としての、外気取入れ量過多という非省エネルギー運転を防止するための制御である。給気ファンはVAVの開度情報によりインバーター制御させ、レタン側はフローティング動作のモーターダンパーを用い、その開度情報をレタンファンのインバーター制御に反映させた。各VAVの風量設定は、対象室の冷房ピーク負荷時の風量を 90%にて選定し、VAVの最小開度は省エネルギーのために 20%程度に設定する。あまり小さく設定すると換気不足となるだけでなく、系内循環時間が長くなり負荷がフィードバックされ難くなることに留意した。また、外気取入れ・排気系統には、静止型の全熱交換器が設計されているものとして記述している。回転型全熱交換器の場合は、ローターの間欠運転制御とする。外気の風向やビルの煙突効果により外気取り入れ量と排気量に変動を生じないようにそれぞれのダクトに風速センサーを設けて風量を演算し、外気取り入れファンと排気ファンの風量制御を行っている。

空調設計図書としてこの程度は記述したいものであり、そうすると次フェーズでの自動制御管理文書作成が容易で見積との齟齬が生じない。

(次号へ続く)

インテリア系統ＶＡＶシステム制御ダイアグラムの例
（CO_2 最適化制御採用）



凡　例　表

T	温度センサー	F	風量センサー
DP	露点温度センサー	PID	PID動作のDDCコントローラー
H	湿度センサー（記録）	FL	フローティング動作のコントローラー
P	圧力（微差圧）センサー	SW	中央、ローカル切換（BEMS設定）
i	エンタルピー演算器	※	BEMSによる演算処理
CO_2	CO_2 センサー	※※	DDCネットワーク（ネットワークシステムはBEMS仕様書による）
UT	ユーザー設定器		

インテリア系統 VAV システムダイアグラム例（CO_2 最適化制御採用）