

# 性能検証手順の実施

E. E. Choat, P.E. 市橋 迪訓訳、中原 信生訳  
ASHRAE 特別会員

## 要約

空調設備の性能検証手順の実施はHVAC設計者の責任である。設計したシステムが設計の意図にしたがって施工され、正常に作動し、発注者の希望に十分沿ったものになっていることを検証するのが、設計者の専門家としての責任であり最重要事項でもある。このような目的を達成するには、性能検証方法の制定が欠かせないものである。

性能検証は、建築工事の工程内で作業の一部分であり、性能検証手順についても契約書に記載しておかなければならない。設計者が専門家として作業を順調に進めるためには、仕様書の中で性能検証に関する要項をしっかりと規定しておく必要がある。

設備の運転、設備の保守管理を行うメンテナンス・チームの編成などを初めとして設計者の責任を果たすことにより、その目的が達成されることになる。性能検証など、責任の一端を果たせなければ、作業は失敗となり、さらには法的な訴追を受けることにもなりかねない。

## はじめに

空調設備や建築業界では、近来、性能検証(コミッションング)という言葉が非常な流行語になっている。人によってその意味するところが異なるようである。私のような設計者にとって性能検証とは、すべてのHVACの設計と施工が首尾よく完了したことを確認し、設備の機能を十分に発揮させ、正常に運転するプロジェクトを発注者に引き渡すことである。正常な運転とは、設計意図、すなわち発注者の期待を完全に満たしたことである。言い換えれば、設計者としての自分の仕事を完成させたことである。

## 設計者の役務

HVACシステムの建設計画を立てるのが、設計者の仕事である。この仕事を進めるには、少なくとも2つの計画、すなわち建設計画と性能検証計画が必要である。建設計画(Construction Planning 訳注:夏季に記述される内容から見て、建築計画とも施工計画とも異なり、むしろ設備設計・監理の意味合いが強いので、ここでは建設計画と訳す。ただしこれには性能検証を含まない)とは技術的作業であって以下の項目を含む。

1. 負荷の計算
2. 空調システム、冷水システム、温水システムの設計
3. 建築環境システムを構築するのに必要な要素機器の選択
4. 設備機器の購入および設置のための仕様書の作成

性能検証計画とは管理的な性格のもので、以下の項目に対する段取りを規定するものである。

1. 建設計画書にしたがって建設作業が実施されていることの確認
2. 十分な機能を発揮させるために必要な調整作業(効果的で満足な運転ができるための調整作業)
3. 欠陥のあぶり出しと修正
4. システムが正しい機能を発揮していることの確認
5. 竣工後の正常運転継続の確保

この役務を成功させるには、建設計画と性能検証計画の両方ともが建設文書(訳注:その構成主体は設計図書であろう)に盛り込まねばならない。いずれが欠けても、建築工事は無残なものになろう。

## 建設計画のみの場合と建設計画+性能検証計画の場合

多くのプロジェクト開発例では、技術要件については適当な計画が為されていても、最終生産品の性能検証については殆ど、或いは全く考慮されていない。建設計画のみの場合の結末は容易に察しがつく。実のところ、建設計画のみしか記述されない場合の成果物は、殆ど間違いなく失敗作になってしまうであろう。その理由を挙げれば以下ようになる。

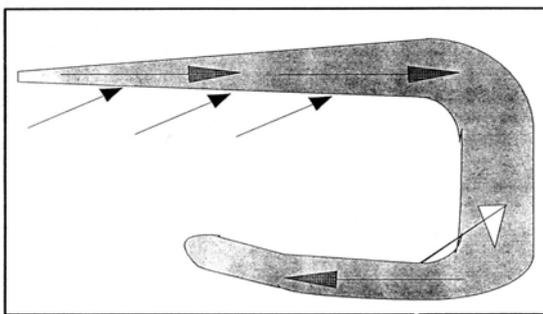
1. 設計とは不完全なのが常である。
2. 納入物品は不完全なのが常である(コンプレッサが機能しない、制御装置が働かない、など)。
3. 施工は不完全、かつ殆どの場合未完成であるのが常である。

4. HVAC システムは、殆ど常に要素機器の固有な組み合わせから成っている。要素機器の中には広範囲の性能適用範囲を有するが故に、特定のシステムに望ましい性能を得るためには調整を必要とするものが少なからず有る。壁付きレジスタ吹出口（訳者註：以下 吹出口）は、しばしばこのような例に挙げられる。この吹出口が示す性能や室内状況はきわめて可変的で、吹出口の前面および後面の羽根の位置と向きに大きく影響を受ける。

例えば、北側壁部に沿ったダクトに二方向性の吹出口を取り付け、20 フィート(6.1m)離れた南側壁部に向かって空気を吹き付ける場合を考える。この横型吹出口には、調整可能な垂直前面羽根と水平後面羽根とが設けられている。図 1 から図 5 に示すように、吹出し性能は吹出し口の二組の羽根の位置によって劇的に大きな影響を受ける。

図 1 は、壁付き吹出口から流れ出る気流の立面図である。ここに、吹出口から気流がだいたい 1,000 (5.0m/s)ないし 1,500fpm (7.6m/s)くらい的高速で吹き出されるとする。吹き出された空気は、室内を進むにつれ廻りの空気を誘引して混合する。その結果、空気流のサイズは大きくなり、速度は距離とともに減少してゆく。気流は、南側の壁面に衝突して方向を転じて下降し居住空間内に進入していく。設計により、気流の終端速度（すなわち南側壁面での速度）は、ほぼ 100fpm (0.5m/s)、その結果として室内の気流が 35fpm(0.18m/s) となるものとされている。速度 35fpm(0.18m/s)の室内気流は居住者に感じとれない程度であるが、一方 75fpm (0.38m/s)の室内気流はドラフト(賊風)と称して受け入れ難いものである。

図 2 は、壁付き吹出口からの気流の平面図である。この図では、吹出口の前面の垂直及び水平羽根が二組とも真直ぐ、すなわち偏向が 0° になっている。



断面図

図 1 壁付吹出口から流れる気流のパターン

図に示すように、気流の到達距離(速度が 100fpm (0.5m/s)になる点までの吹出し口からの距離) は約 60 フィート(18.3m)である。この例では南側の壁面が 20 フィート(6.1m)離れているだけなので、終端速度は非常に速くドラフトの大きい室内状態となる。図 3 は、前面垂直バーの偏向を 20° に調整した場合について、同じ吹出口の吹出気流のパターンを示している。図示したように、到達距離は 45 フィート(13.7m)まで減少しているがまだ許容できない範囲にある。

図 4 および図 5 は、それぞれ偏向が 40° および 55° の場合の吹出気流のパターンを示している。このような設定では到達距離はそれぞれ 30 フィート(9.1m)と 20 フィート(6.1m)になる。

これらの図を解析すると、以下のような結論が得られる。

1. この例では、前面垂直羽根の傾きを 55° に調整した場合に、この吹出口のもたらす室内気流速度は許容できる。

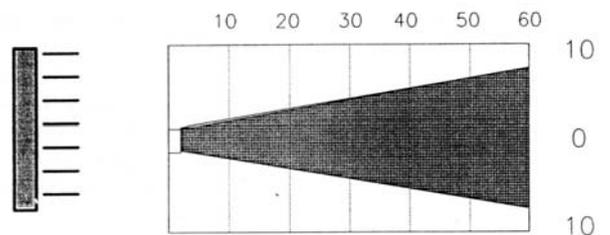


図 2 壁付吹出口から流れる気流のパターン—垂直羽根偏向 0° の場合

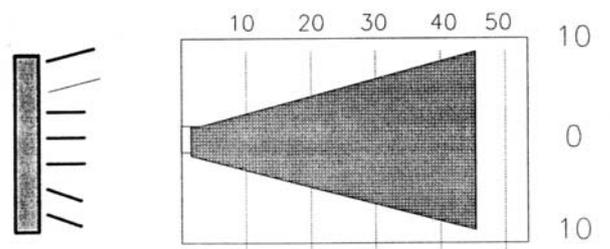


図 3 壁付吹出口から流れる気流のパターン—垂直羽根偏向 20° の場合

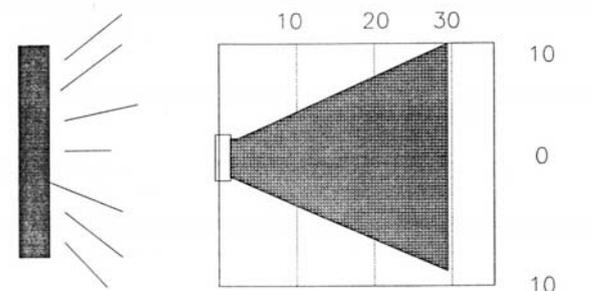


図 4 壁付吹出口から流れる気流のパターン—垂直羽根偏向 40° の場合

2. 前面垂直羽根で調整を行わない限り、室内気流の速度は大きすぎる。

同様の状況が、表 1 に示すような吹出口のカタログ情報に見出される。この典型的な吹出口の吹出風量を 700cfm(1,189m<sup>3</sup>/h)とし、吹出口サイズを 12" × 12"(300mm × 300mm、訳注:原文には 12ft×12ftすなわち 3.6m×3.6m とあるがミスプリントと思われるのでインチに修正した)とした場合は、その結果得られる到達距離は、羽根の位置より 18 フィート(5.5m)から 32 フィート(9.7m)の範囲で変化する。この場合も、必要な調整が行われるならばこの選定で良いことになる。

表 2 は別のことを物語っている。これは室内を進むにつれて生じる気流の降下距離を示している。気流降下は冷房時の供給空気の密度と室内空気の密度との差によって生ずるものである。

この例では、吹出口での吹出速度は約 1,200fpm (6.1m/s)である。仮に供給温度が 50° F(10°C)で室温が 75° F ((23.9°C)とすると、20フィート(6.1m)離れた南側壁面での総降下距離は(表 2 から) 5 フィート(1.5m)となる。この場合も、この吹出口により得られる室内気流は大きすぎて望ましいものではない。

これには後面水平羽根を用いて解決することができる。表 3 からわかるように、単純に水平羽根を上方へ約 15~20° 傾けるだけで、降下距離をほぼ 0 に減少させることができる。

以上のデータから以下の結論が得られる。

1. 壁付き横型吹出口を用いた場合、適切な到達距離と降下距離を得られるよう調整しなければ、良好な空気分布を得る可能性は殆どない。
2. HVAC 設計者は常に二方向性の横型吹出口を選んで、吹出し口が室の要求特性に合うように調整できるようにしておかなければならない。
3. また、空調設計者は、必要な調整作業の実行を規定しておかねばならない。

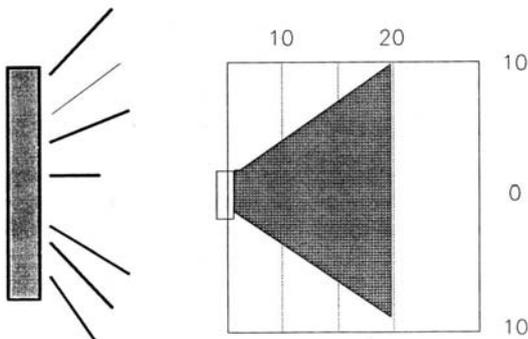


図5 横型吹出口からの気流パターン—垂直羽根偏向が55°の場合

表 1 壁付吹出口のカタログの代表的記載データ

		偏向角度									
		0	20	40	55						
		吹出速度									
		900	1000	1100	1200						
		圧力損失									
W I D T H		到達距離									
		0.05	0.06	0.08	0.09						
		高さ									
		到達距離									
		Vt=75									
		8	24	10	12	14	CFM				
		24	18	14	12		700	32	28	24	18
		26	20	16	14		800	34	30	25	19
		30	24	18	16	14	900	36	31	26	20

(訳注:高さ・幅は)インチ、速度は fpm、圧力損失じゃ水柱インチ、最終速度が 75fpm)

表 2 壁付吹出口からの総降下距離

吹出速度 fpm	サイドウォール到達距離-フィート							
	10		15		20		25	
	-18F	-25F	-18F	-25F	-18F	-25F	-18F	-25F
500	3.5	4	5.5	6	7.5	8.5	9	10
750	2.5	3.5	4	5.5	6	6.5	7.8	8
1000	2	3	3.5	4	5	5.5	6	6.5
1250	2	2.5	3	3.5	4.5	5	5.5	6
1500	1.5	2	3	3.5	4	4.5	5	5.5
1750	1	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
2000	1	1.5	2.5	3	3.5	4	4	4.5

(訳注:Fは華氏温度で吹出し温度差)

表 3 上方に向けて 15~20° 傾斜させた水平羽根による降下補正

	到達距離 - フィート						
	10	15	20	25	30	40	50
減少量	2.5	3.5	4.5	6	7	9	11.5

建設計画+性能検証計画の場合のほうが、建設計画のみの場合よりも遥かに優れている。性能検証を含む計画は前記の例に述べたような多くの問題を除くことができる。またその過程で、その他の問題が発見され、可能な場合には試験調整(TAB, Testing and Balancing)工程を経てこれが修正される。改修が必要となるような場合には、欠陥が明らかにされるとともに推奨される解決法が提示される。この過程ですべてが成功すると言う保証はないがその可能性は大いに高まる。

ここに述べたように、HVAC 設計者が成功するために性能検証は不可欠なものである。したがって、設計者は、最大限努力してこの過程を実行するように心掛けなければならない。

### 性能検証手順の実施

HVAC 設計者は、性能検証過程を実施するための定型的計画を持つべきである。この計画は、以下のような特徴を備えている必要がある。

1. ほかの定例業務と同じくプロジェクト展開の標準的プロセスに合致させたものであること。

2. 時たま起ると言うような、ある種の特別のものではない業務処理法であるべきこと。
3. 妥当なコストでプロジェクトを運営し成功させて受け渡しできるものであること。
4. 要求されている仕事を完成させるために、実績のあるプロジェクト・チーム構成員を起用するものであること。
5. 関係するすべての担当組織の責務を明確に規定し、その調整を行うものであること。
6. 規定の作業を完了し、その成果に対して資金を提供することを明記した法的文書であること。
7. 作業仕様書になっていること。

建設計画であれ性能検証計画であれ、契約書における請負仕様の部分は作業実施の仲立ちを行うものである。以下の理由により、設計者は、このような仕様書を作成する適任者であるといえる。

- ・ 工事がうまく完成することに責任を負っている。
- ・ 技術的要求事項と性能検証の必要性について熟知している。
- ・ 計画全体に関わっているため、性能検証要求項目を計画に盛り込む機会が充分にある。

## 性能検証を成功させるための鍵

契約書に性能検証の仕様を記載しても、プロジェクトが成功裡に完成することを保証することにはならないが、その存在、とりわけその内容が成功の可能性を高める。したがって性能検証仕様には、成功する可能性を高める鍵となる事項を組み入れるように配慮する必要がある。この鍵となる要点、簡単に言えば責務の規定法とも言うべきものの概要は以下のとおりである。

### 1. 性能検証責任者

すべてのHVAC 工事の性能検証責任者は設計者であるべきである。その責務内容は設計者の専門知識と義務に属する範囲であるから、この役割を果たすのに最も適任であるとともに最も安価な選択である。

### 2. 性能検証責任者の義務

- a. TAB チームの適性の審査と承認
- b. TAB レポートの正確さの確認を、審査と選定項目の再試験による立証とにより行う。

- c. TAB レポートによる勧告を評価して採否を決める。
- d. 発注者／オペレータ向けマニュアルの審査と承認
- e. 発注者／オペレータ向け訓練計画の審査と承認

### 3. 試験調整担当機関の必要業務

- a. 風量調整
- b. 水量調整
- c. すべての HVAC 機器の試験
- d. 制御装置の機能確認
- e. 試験結果、欠陥報告および勧告を記載した試験レポートの作成
- f. (性能検証責任者の立会いのもとに) 試験報告書の正確さを確認するために必要な、選定項目についての再試験。
- g. 発注者／オペレータ向けマニュアルの作成準備
- h. 発注者／オペレータ向け研修の実施

### 4. TAB チームの構成および資格認定

TAB 要員の構成および資格認定について定めた既存の規定はない。加えるに、TAB 作業の有資格者は著しく不足している。それ故、適切な TAB チームを確保するには、空調設計者は、要員と資格の要件について契約書に規定することが望ましい。さらには、空調設計者は具体的なチーム構成員の資格証明を文書の形で提出することを求めることが推奨される。

以下のようなチームの構成メンバーとその資格要件について配慮するのが望ましい。ただしこれらの資格の一部は不必要となる場合もあると思われる。

- a. TAB 技術者がすべての TAB 作業を監督し責任を持つこと。その資格要件は：
  - ・ 公認の 4 年制カリキュラムまたは同等の課程 で取得した機械工学学士号
  - ・ 大学卒業後、最低通算 8 年の実務経験および最低 5 年間の TAB 実務経験
- b. 現場監督ー現場作業全般の責任を負い、すべてのデータシートに署名をする。その資格要件は：
  - ・ 公式の 2 年制カリキュラムまたは同等の課程で取得した機械工学学士号

- ・ 最低 80 時限の公認の TAB 訓練、かつ  
最低 5 年の TAB 実務経験
- c. TAB 技能者は、すべての試験データ採取の責任を負い、データシートに署名しなければならない。その資格要件は:
  - ・ 高校卒業者
  - ・ 最低 40 時限の公式 TAB 訓練、かつ  
最低 3 年の TAB 実務経験
- d. 作業補助者は作業意欲と学習意欲が無ければならない。

## 5. 請負者の責務

仕様書により、工事請負者は、性能検証作業チームの一員として以下の事項が要求されるべきであらう。

- ・ 承認を受けた竣工工事チェックリストの提供
- ・ 性能検証作業への現場支援の提供
- ・ 制御や、メーカー代理店による作業などの、関連作業の調整

### 性能検証仕様書は協約書である

(性能検証仕様書は商品である)

性能検証仕様書は、かなり経費のかかるものであるが、それはまた関係するすべての担当組織に対する協約でもある。

それは設計者にとっては、完全に運営できる満足な設備を受け渡すためにデザインされる、一種のメカニズムであるというべきである。そのために少しでも不足するものがそこにあれば、それは不適切であり、設計者の名声を貶めるものになる。加えるに、法廷で満足な設備を作れなかった自らの失敗を釈明し、解決のための支払いを迫られるであろう。

また、それは設計者の名声を大いに高めることにもなる。繰り返して言うと、適切な性能検証計画を持ってしてもプロジェクトの成功が 100%保証されるとは限らないけれども、それが無い場合に比べれば大幅な改善を保証するであろう。一方、性能検証計画を持たないと言うことはほぼ確実に失敗となる。

工事請負業者にとっては性能検証仕様書はプロジェクトについての必要部分である。それ故、それは入札価格に含めることができる経費項目である。それはまた真に優れた仕事をする機会を提供する。検証作業を通して、すべてのシステムについてそれらが可能な最善の運転状態となるように試験調整が行われる。機器および制御装置の性能試験が行われる。もし仮に欠陥があったとしても、多くの場合それは修正される。

最終的に工事請負業者は、その工事が完全に受容できる状態で竣工し、良好な審査結果を得てより多くのビジネスにつながる可能性が高くなる。

TAB 業者にとっては、性能検証仕様書は必要な TAB 作業を明確に規定したものであって、平等に競合性を保証するのである。それはまた、適切な要員計画の根拠ともなる。

発注者にとって性能検証は、その求める設備を手に入れる機会を高める方策である。作業量が少し増えれば、少しだけコストがかさむのは確かだが、繰り返すまでも無く完成品の品質は遥かに良いものになる。それはあたかもすべての商品が値札以上の価値のある店で買い物をするようなものである。

## 議論

**Bion Howard, Senior Program Manager, Alliance to Save Energy, Washington, DC:** 新築工事と商業ビルの改造とで、貴方の推奨する内容に違いがでてくるのかどうか説明願いたい。

機能が完全な建築物を適正に提供してもらうために、なぜ発注者が余分の費用を経費を支払う必要があるのだろうか。聴講者の一人の話によれば 1 平方フィート当たり 0.25~1.00 ドルの経費がかかるという。設備は作るが、もっとお金をくれれば正常に作動するようにしよう、というのはいささか傲慢であるように思われる。

**Ernest E. Choat:** 性能検証過程の実施に関する私の主張は、新築の場合にも、改築の場合にも同様に当てはまる。私が述べた過程によって機能が完全な設備を作ることができる。発注者は、エンジニアリングチームに一切合財の仕事をしてもらうために支払うのであり、この作業には設備を正常に作動させることも含まれるが、余分の経費を払うものではない。

**Bruce D. Hunn, Research Engineer, Center for Energy Studies, University of Texas, Austin:** 性能検証過程を促進するためのどのような動機付けがあるのか。設計・施工の品質向上に対してどんな見返りがあるのか(未払いや訴訟の排除のほかに)。

それと、設計者がすべて男性だと仮定しないでいただきたい。話し方に注意して女性も含めるか、中性の表現にしてもらいたい。

**Choat:** すでに説明したように、性能検証は工事仕様書に記載する必要事項なのである。それは、工事を完成させるための法律的、強制的な動機付けなのである。男性であれ女性であれ、設計者がその仕事ができれば、そのほかの動機付けは不要であると思う。私の考えでは、設計者は「ただ図面と仕様書を作るだけ」ではなく、性能検証過程が生きるようにもっと責任をもって欲しいと思う。適切な動機付けとは、ここで述べたような業務を含む技術料を支払おうと言う前向きな姿勢そのものであると言いたい。

**Paul N. Deltz, Vice-President, Goetting and Associates, San Antonio, TX:** 性能検証には、オペレータの訓練への立会い、及びオペレータの総合訓練試験を含まねばならない。これは特に BEMS (訳注: 原文 central EMSC systems) の設備に適用される。

**Choat:** ご意見にまったく同感である。