

ビル用空気調和設備のシステム設計

Systems Design for Building Air Conditioning

前川敏明* Maekawa Toshiaki

鎌田幸慈** Kamada Kouji

近年、ビル用空調設備に対してトータルシステム的な検討が要請されている。そこで本稿は、空調システムの計画及び設計について考察した。またシステムの目的として、快適な空間、省エネルギー、地域環境及び経済性の4項目を挙げた。機能設計では、特に最近の新しい技術動向の話題を、各目的に対応させた。なかでも省エネルギー目的に対しては、建築構造の検討から着手すべきこと、設備面ではヒートポンプ方式、全熱交換器、蓄熱槽、最適制御などについて触れ、最近の注目すべき提案などを紹介した。設備機器の設計については、ほぼ定着した手順が固まっているが、幾つかの代替案との比較、評価に当たっては、空調シミュレータが今後有力なツールになることを述べた。

1 緒言

近年の社会的、経済的環境変化は、人々のあらゆる生活、活動分野に少なからぬ影響を与えているが、ビル用空調設備に対しても、従来とは一味違った方向づけが要請されている。すなわち、それは、

- (1) 単純な温・湿度調整から、人間の活動空間にふさわしい環境を整えるための空気調和
 - (2) 資源、エネルギーに関する世界的な情勢変化への対応
 - (3) 公害規制への対応、地域環境との融和
 - (4) ますます厳しくなる経済性の追求
- などに集約される。これらにこたえる手段として、
- (1) 建築構造上の各種の検討
 - (2) 空調用各種器材、装置の改良及び開発
- などはもちろんのことであるが、最近特に強く期待されている方向は、
- (3) 空調設備のトータルシステム化
- によって前記の要請にこたえる道を確認することである¹⁾。

上記の各項目に対する注目すべき諸説や最近の動向などを織り混ぜて、システム工学的アプローチによるビル空調システムの計画、及び設計の進め方について考察してみたい。

2 システム設計の一般的な進め方

ビルは地上に、ある空間を区切って言えば独立した小都市を構成するもので、小規模ながらも各種のユーティリティ、交通手段、通報手段、行政手段(管理手段)などを備えている。小都市の場合、これらの諸施設は都市の立地する自然の中に分散配置されているわけであるが、ビルの場合はこの立地する自然空間に相当するものが、建築躯体と空調設備で構成されていると考えることができる。したがって、空調設備の基本的な目的はビル内に快適な自然空間を現出することにある。

快適な大気とは何か。また、それを乱すものは何か。これらをどのようにすればコントロールできるかなど、いろいろな面から空調設備に関与する要因、及び機器は数多くあって、それらの関係は複雑かつ有機的である。大自然の複雑な現象には比べるべくもないが、一つのビルという小空間においても空調システムを完全に把握することは容易なことではない。システム工学は、この種の問題に取り組むために近年目覚ま

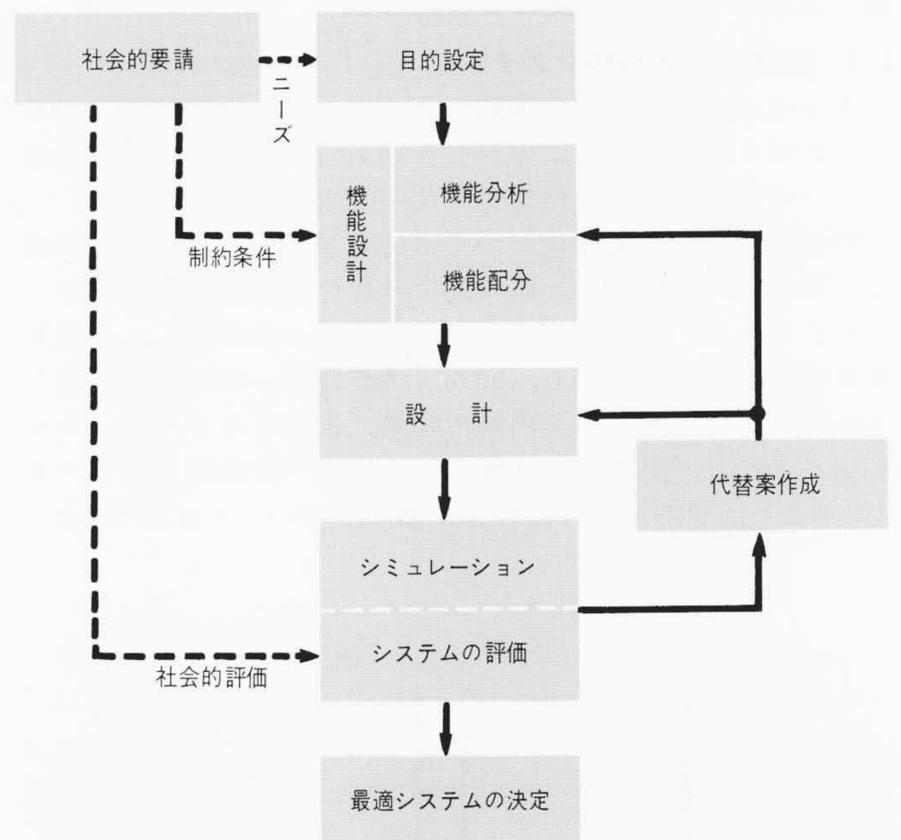


図1 システムの計画、設計の手順 大形、複雑なシステムの計画、設計は一般的に図のような手順で進められる。

しく発展してきた分野である²⁾。

システム設計は、一般的に図1に示すようなプロセスで進められる。まずシステムの目的を明確に把握することが必要である。ビル空調システムの場合、建物を取り巻く近年の社会情勢を考えて、その目的を設定すると、前章で述べたように、快適空間、エネルギー、環境公害、経済性などの項目が挙げられる。

システム設計の第二段階は、機能設計である。システムの目的達成のために必要な機能を分析し、システム構想を固める段階である。システムの機能には、冷熱源機器、空気調和器、ダクト、送風機など、設備の骨格に関する各種の能動的な機能と、システムへの外乱となる各種熱負荷の評価、防除など、システム目的達成のための防衛的な機能とがある。

* 日立製作所システム技術本部 工学博士 ** 日立プラント建設株式会社

設計段階では、システムコンポーネントとしての各種の機器、機材の諸特性を十分見きわめて、一連の組合せを選択しなければならない。すなわち、最新の開発製品の導入、新しいアイデアの発想など斬新なシステムづくりが期待される段階である。

一連のシステムコンポーネントが定めれば、それらを結合した総合特性を計算し、評価する段階に入る。過去の経験値や類似システムでの実測値など、設計グループのもつポテンシャルは貴重なものであるが、近年電子計算機を使ってのシミュレーション技術が著しく発達し、斬新なシステム評価に威力を発揮している。

評価の結果を踏まえて再び設計段階にもどり、各種の代替システム案をつくって、比較評価を繰り返すことにより、最適システムを決定することになる。

以上、システム設計法の常套的プロセスに従って、空調システムの設計手順を概説したが、次に各段階を追ってもう少し詳しく考えてみよう。

3 空調システムの目的と機能設計

3.1 快適な空気調和システム

先に述べたように空気調和システムの第一の目的は、ビル内の空気を快適な状態に保つことにある。温度、湿度、塵埃などのほか、基本的には空気の化学的成分にも関係する。

快適な温・湿度条件については従来から国内外に多くの研究が発表されているが、最終的には居住者の主観に左右されるものである。大多数の人々に受容される条件として、現在事務所建築では夏季26°C、50%、冬季22°C、40%と設定されている例が多いが、ビル内外の移動、省エネルギー的メリットなどを考え、更に外気状態に近い方向へ設定値を移すべきであるという説もある³⁾。例えば、商店やデパートなどの場合、

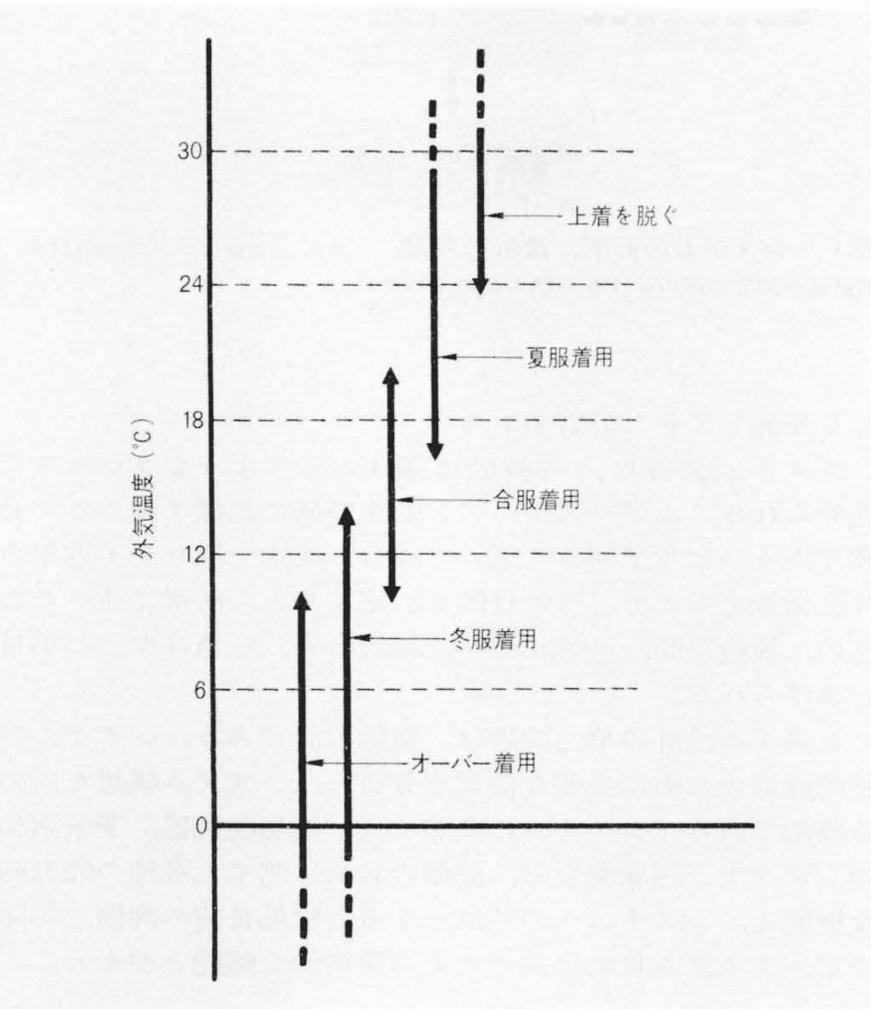
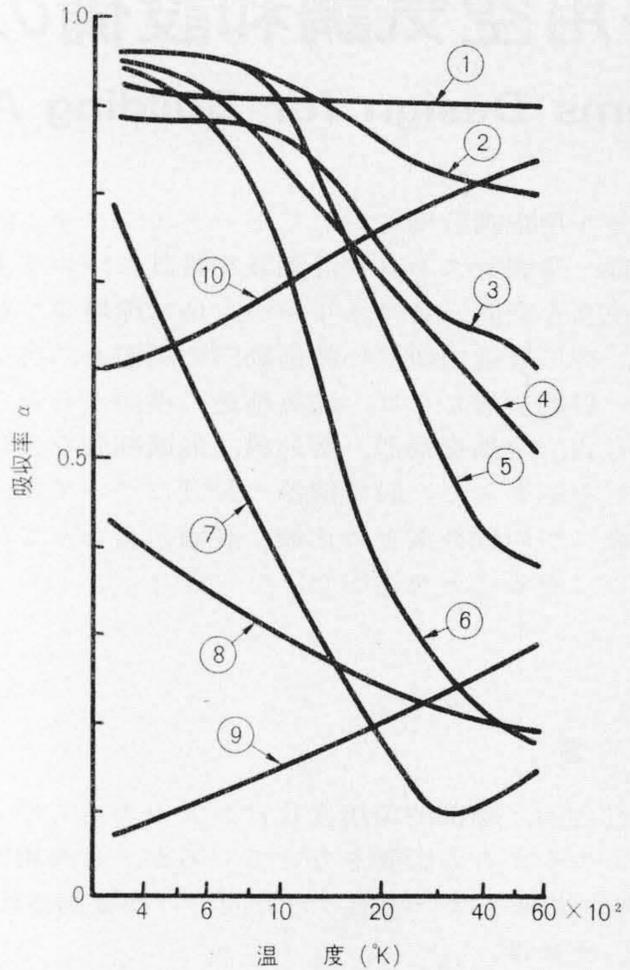


図2 外気温度と人の服装 人の服装は季節によって変わる。ビル内の空調温度も幾分かこれに対応させたい。



No.	名称	No.	名称
①	スレート屋根材料	⑥	白ダッチタイル
②	アスベスト・スレート	⑦	アルマイト
③	コンクリート	⑧	アルミニウムペイント
④	陶磁器	⑨	アルミニウム研磨面
⑤	ガラス質ほうろう(白色)	⑩	グラファイト

図3 熱輻射源の温度による各種固体表面の吸収率 省エネルギーを目指すビルの外装には、吸収率αの小さいものが望ましい。

買物客の立場からみると、オーバーを着用したままの快適さをも考えるべきではなかろうか。人は外気温度だけによって更衣しているとはいえませんが、住宅、病院など半固定的に在住する場所を除いて、図2に示すような服装に着目することも必要と考える。

都市内のビルの場合、塵埃に対する問題は比較的少ないが、煙草の煙は一般の塵埃とは違った難問をエアフィルターに負わせている。会議室などに対しては特に考慮しておくべき問題である。一般に空気清浄度維持のため、外気取入れが図られるが、酸素補給法の経費が、外気取入れ法の熱損失費用と大差がないという試算例もある⁴⁾。しかし、安全性などの問題もあり、現在では実用化には遠いようである。

3.2 省エネルギー機能

空調設備の計画、設計をシステム的に行なうべきであるとする最近の大きな動機は、省エネルギー的観点にある。夏、冬の外気状態に抗して、区切られた特定の空間に常時春、秋の快適さをもたらすために必要なエネルギーは、内・外気の遮断性能を良くすることによって低減される。一方、ビル内には、各種の熱源、空気汚染源など閉鎖空間の快適性を損なおうとする擾乱があるため、これを阻止するためのパワーが必要になる。照明その他の電気機器など、効率の高いものを選んで内部熱負荷の低減を図るとともに、新鮮な外気取入れ方法にも工夫を要する。

まず内外の遮断性能の改善に関しては、ほとんど建築構造に依存し、建築形状、外壁、窓、扉などの問題に帰着されよう。形状については、内容積に対して外周面積の小さいものがよく、究極的には球形である。外壁の断熱性は材料と厚さに依存するが、表面の熱輻射吸収率の点からは図3のデータによるとアルミニウムがよいことが知られる⁴⁾。窓は一般外壁より熱抵抗が著しく小さいので、この大きさ、構造は空調熱負荷に対して大きな影響を及ぼす。無窓建築を提言されている向きもあるが⁵⁾、一方、高層ビルの魅力は見晴らしのよい窓にあるということも、もっともな説である⁴⁾。デパートの売場のような場合は窓の見晴らしはほとんど必要としないとみられ、使用目的によって選択すべきはもちろんであるが、省エネルギー的観点からは窓の小さいほうがよい。明るい窓があると、内部照度の均一性を図るためにかえて照明を強化する必要がある。次に、高層ビルの出入口で大きな風圧を感じることはよく経験することであるが、扉の構造などドラフトの減少対策も考えておくべき問題である。以上、建築での省エネルギーについて二、三の説を紹介したが、近年この方面の論文は多い^{1)~5)}。

上述のように、ビル外部からの熱負荷の侵入、及び内部での発生熱負荷をできるだけ低減することが省エネルギー化検討の前段ステップである。次はこれらの残存熱負荷に対抗する空調設備について省エネルギー化の着眼点を考える。ここでは、むだを省いて効率の向上を図る、ということではほぼ尽されるが、局部的な外気冷房や太陽熱の利用など、ビル周辺から得られるプラス要因も忘れるべきではない。

空調設備の心臓部は冷熱源機器である。従来、電動圧縮式冷凍機とボイラとの組合せが一般的であったが、最近、吸収式冷凍機が注目され、特に二重効用ガス直焚き冷温水ユニットは約40%省エネルギー化し、我が国独特の冷凍機としてその普及が著しい。

電動圧縮式冷凍機は、一方の物体から熱を吸収して、他方

の物体へ熱を放出する機械であるが、この場合、前者の物体より後者の物体が高温であるところに冷凍機であるゆえんがある。この機械の出力を低温側とみれば冷凍機であるが、高温側を利用する装置として使う場合はヒートポンプといわれる⁶⁾。図4に示すように、この両機能を切り換えることにより冷房、暖房共用装置として機械の稼働率を倍増できる。この方式は社会的立場からみれば、省エネルギー効果のあることが試算されており⁵⁾、また理想的なクリーン冷・暖房設備とも考えられ、将来の新空調方式として注目し値するものと思う。

現在、ビル内空気清浄化のため、実用に供される対応策は外気取入れである。大気汚染が問題になっている今日、従来よりも外気取入れ必要量が増しているため、このため給・排気に乗って放散される熱損失は空調全負荷の25~40%にもなり、この防止は省エネルギー策の着眼点となる。取入れ外気と排気の熱交換を行なうために全熱交換器が開発されているが、将来、ヒートパイプ⁷⁾の利用などは興味深い問題であろう。

大形ビルでは蓄熱槽の活用も多くなってきたが、これは電力のピークカットに有効であるばかりでなく、深夜電力の活用や冷・暖房切替時季の運用によって年間電力量の低減にも貢献する⁸⁾。

空調設備は冷熱源機器、空気調和器、熱搬送機器(ダクト、パイプ、ポンプ、送風機など)など多くの機器が共同して所定の機能を果たしているシステムである。また、このシステムにはビル内外から多様な外乱が作用するため、総合的な判断に基づく運転、制御が必要であり、電子計算機による最適制御システムの効用は大きい。計算機制御は、快適な環境、運用管理の省力化などのほかに、きめ細かな省エネルギー運転を可能にするものとして、不可欠の装置となっている。

3.3 地域環境との融和

ビルは独立した小都市とも言える機能を備えるものが多いが、立地環境を無視したものであっては、その存在を否定される。電波障害、交通問題など多種多様な問題があるが、空

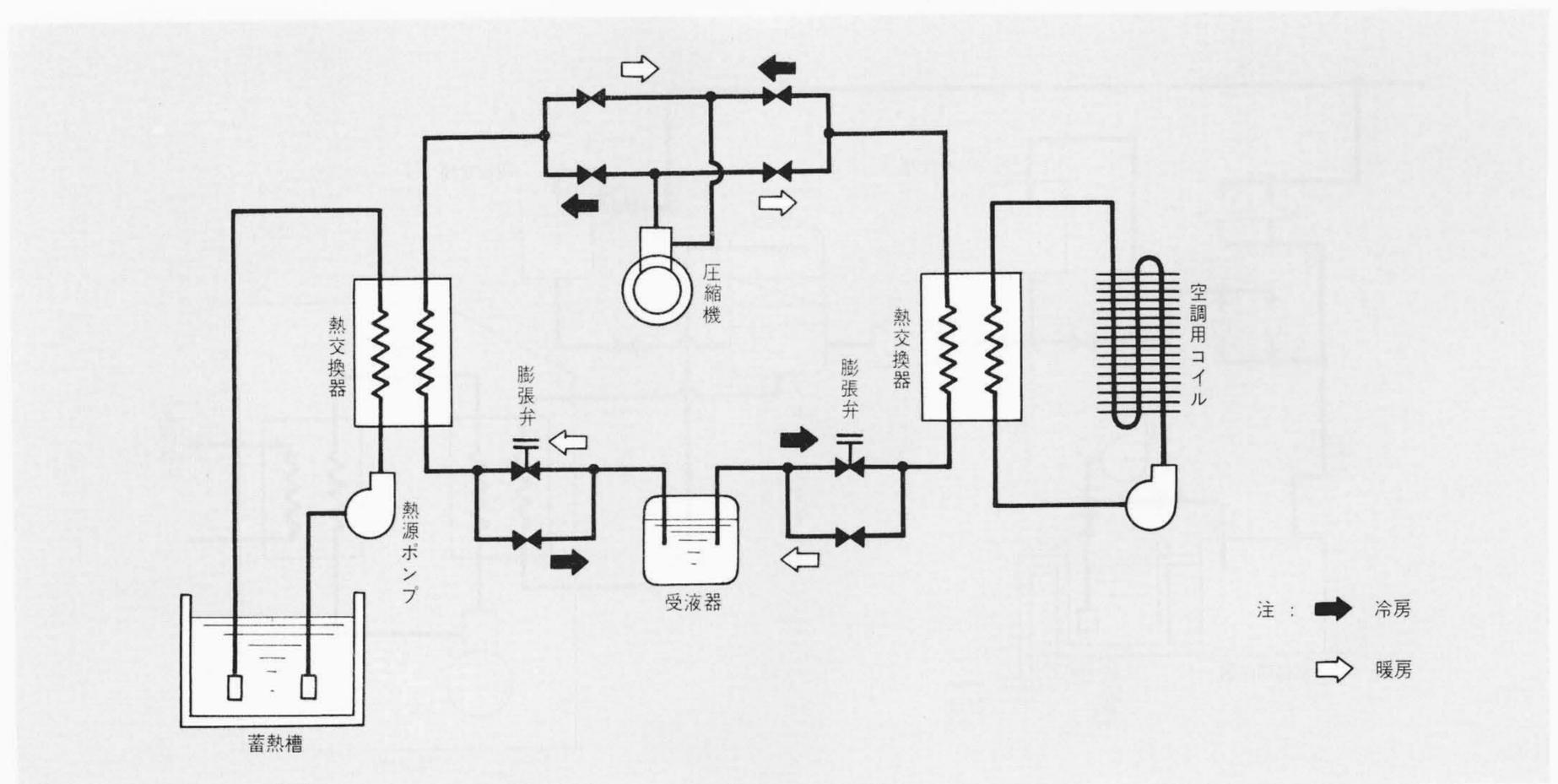


図4 ヒートポンプ式冷暖房システム クリーンエネルギー形で冷暖房共用の空調設備として、将来の発展が期待される。

調システムに関係する大きな問題は、燃焼式冷熱源機器の排気汚染及び冷凍機用冷却水の大量消費である。前者は燃料品質変更により対応されてきたが、後者では空冷式冷凍機がパッケージ形などの小容量機にとどまっている現在、水冷式が主流である。

将来の都市の水不足は大きな社会問題であり、水道料金の上昇とともに、生活用水優先の給水規制は避けられない方向である。一方、排水の汚染度規制が強化されると、自家用污水处理設備の設置も必要となり、この処理水の再利用が考えられる。ここに着眼したのが、**図5**に示すような再生水利用システムである。従来の清浄水を前提に製作されてきた冷却水系に対して、冷凍機、クーリングタワーなどの再生水による障害対策が鋭意研究された結果、自家用污水处理設備の浄化機能と協調のとれたシステムが完成された。

3.4 空調システムの経済性

以上最近の新しい技術動向に着目して、空調システムの望ましい機能分析を行ってきたが、最後に重要なことは、システムに対する経済性の追求であり、コストも重要な機能の一部であるということである。新しい開発技術についてのコスト評価は速断を許されないが、大体これらの個々の技術はシステムの初期投資を増加する傾向にある。熱負荷減少のための建築構造上の投資は、空調設備の容量減少をもたらし、冷暖房共用のヒートポンプ方式の採用は省スペース効果をもたらすなど、初期の投資でも減殺ファクタをもつものがあるが、総合的に見れば増加傾向となろう。しかし、これらの技術の効用は、ランニングコストの低減につながるものが多く、経済性に対する検討は初期コスト、運用コスト両面を総合した設備のライフサイクルコストによって行なわれるべきである。世界的な資源、エネルギーコストの急激な上昇傾向が予測される今後では、ランニングコストに重点をおいたシステムの開発が最後の勝利を得るのではないかと考える。

4 空調設備の設計とシステムの評価

設備に対する設計は、選定されたシステム構想に従って、配分された各サブシステム機能を実現するように進められる。この場合の設計手順は、ほとんど従来から慣用され、確立されているが、ここでは互いに隣接する機器間の問題、多くの機器装置に関連する問題など、システム的な考え方を可とする問題について二、三の例を取り上げて述べる。

4.1 冷熱システムの最適温度レベル

ボイラ、冷凍機、冷却塔及び空調器から成る冷熱システムを温度レベルに関して概観してみよう。

まずボイラについては次のような制約条件がある。

(1) 硫黄分のある油を焚く場合

160°C以下ではSO₃露点以下になり、ボイラ伝熱面の燃焼ガスに面する側がH₂SO₄により腐食される。鋼製ボイラは腐食に弱いから酸露点以上に保たねばならない。鋳鉄製ボイラは腐食の心配は少ない。すなわち、

蒸気ボイラ……蒸気圧 6 kg/cm²(温度164°C)以上

温水ボイラ……温水温度160°C以上に保つ

(2) 硫黄分の少ない油、ガスを焚く場合

燃焼ガスの露点以下(45°C)になるとCO₂が水に溶解してH₂CO₃になり、ボイラを腐食させる。すなわち、

温水ボイラ……温水温度を50°C以上に保つ

(3) 燃焼ガス出口温度は、硫酸腐食防止のため及び煙突ドラフトの必要性から、300°C程度を選ぶ。

(4) ホットウェル

給水にO₂、CO₂が入ると、ボイラ及び配管が腐食するので、80°C以上に保って、これらを排除する。

次に冷凍機については、以下に述べるような条件がある。

(1) ターボ冷凍機

水の凍結を防ぐ。停電の際にも凍結してはならない。冷媒

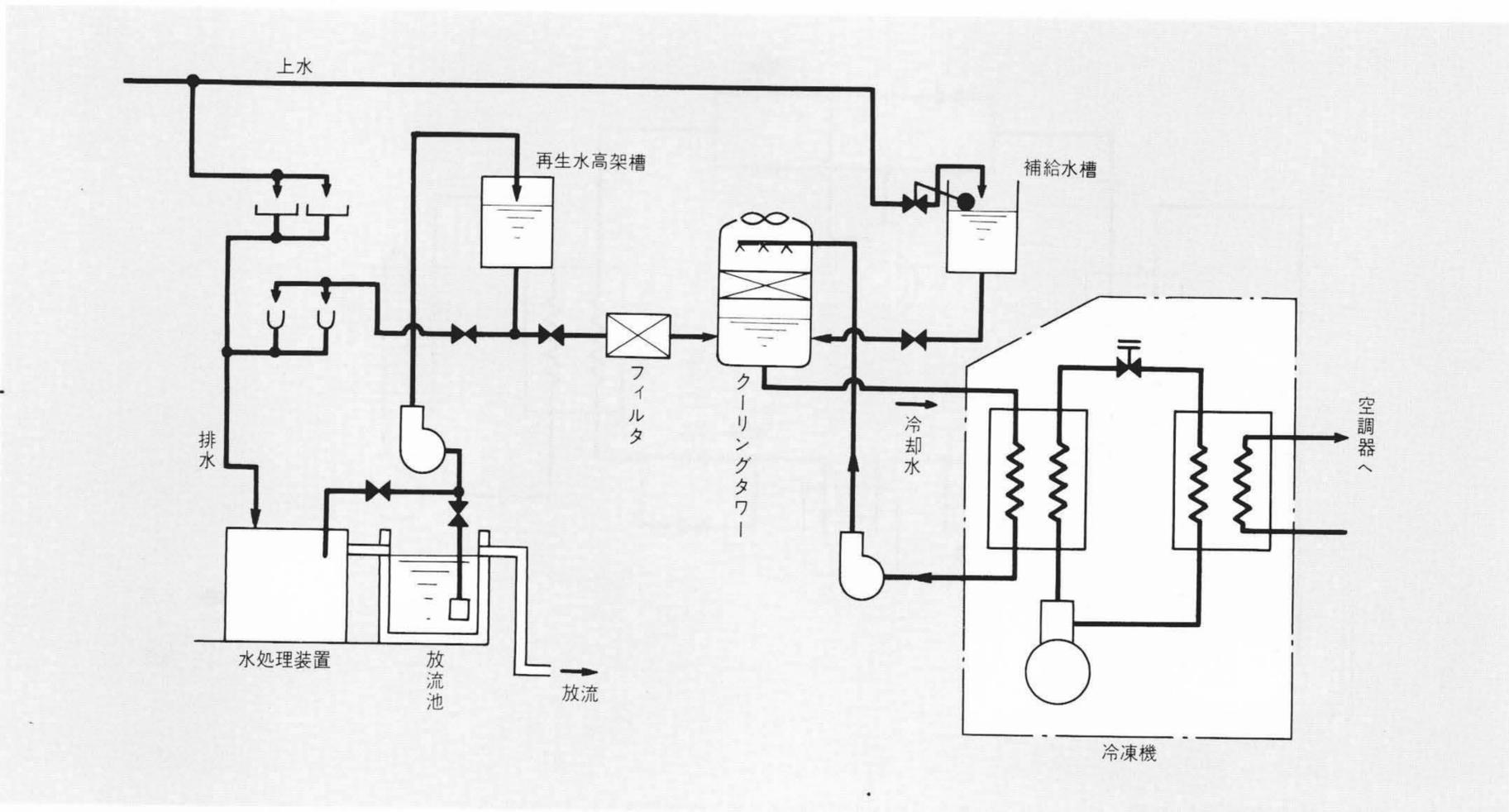


図5 再生水利用空調設備 クーリングタワーでの冷却水の散逸は相当な量になる。

温度は通常+1℃程度で-1℃が下限である。冷水出口温度は3℃が下限であるが、制御のオーバーシュートがあるとたちまち凍結するので、

冷水温度…… { 出口温度 5℃
 { 入口温度 10~15℃

(2) 吸収式冷凍機

冷水温度は5℃まで得られるが、伝熱面積が大きくなり、冷水温度を7℃とすれば、ほぼターボ冷凍機と同列になる。次に冷却塔については、以下のように考えられる。

我が国の外気湿球温度は27℃前後であるが、アメリカでは22~25℃程度と考えられ、一般に冷却塔が小さくても28℃ぐらいの冷却水温を得ている。我が国の現状は冷凍機側に負担をかけさせ、冷却塔出口温度は32℃程度にされている。

現在、我が国の空調器は、ほぼアメリカの例に習い、冷水入口温度5~7℃、出口温度10~15℃が標準になっている。現在の冷却塔、空調器などの標準は、アメリカの影響が大きいが、今後我が国の気象条件に合わせた再検討を行なう余地がある。

以上の考察をまとめると、図6に示すようになる。熱交換器の温度差は6℃が最もよく、これはマジックナンバーとされている。

4.2 空調器の設計

単体機器の選定、設計手順の例として、図7に空調器の選定の概略フローを示した。細部の説明は省くが、至るところで部品要素の比較選定を繰り返して、最適な決定仕様書をまとめることになる。

4.3 最適制御システム

以上述べてきたように、空調設備は多くの多様な独立機能をもった装置から成り、これらが適当な関係を保ちながら運転されなければならない。そのために集中監視操作盤を設けて、常時習熟した運転員によって監視操作が行なわれるが、

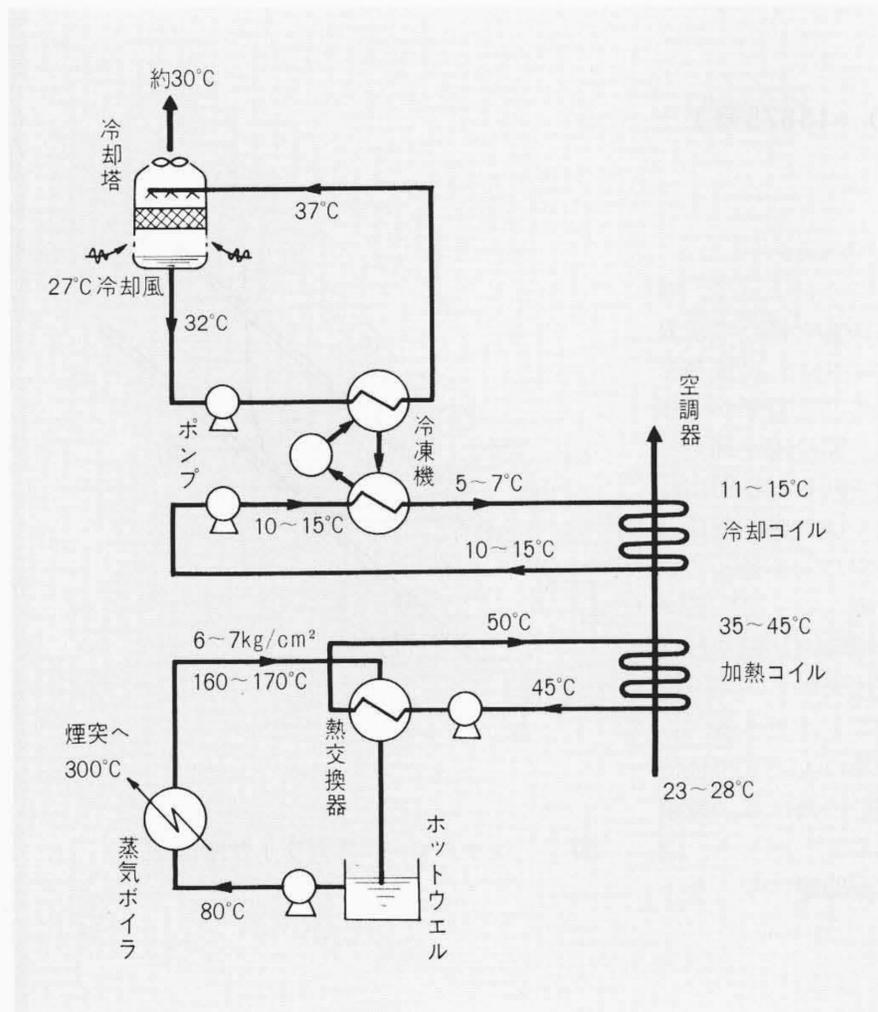


図6 冷熱系統各部の温度レベル 熱交換器の温度差は6℃前後が適している。6℃はマジックナンバーといわれている。

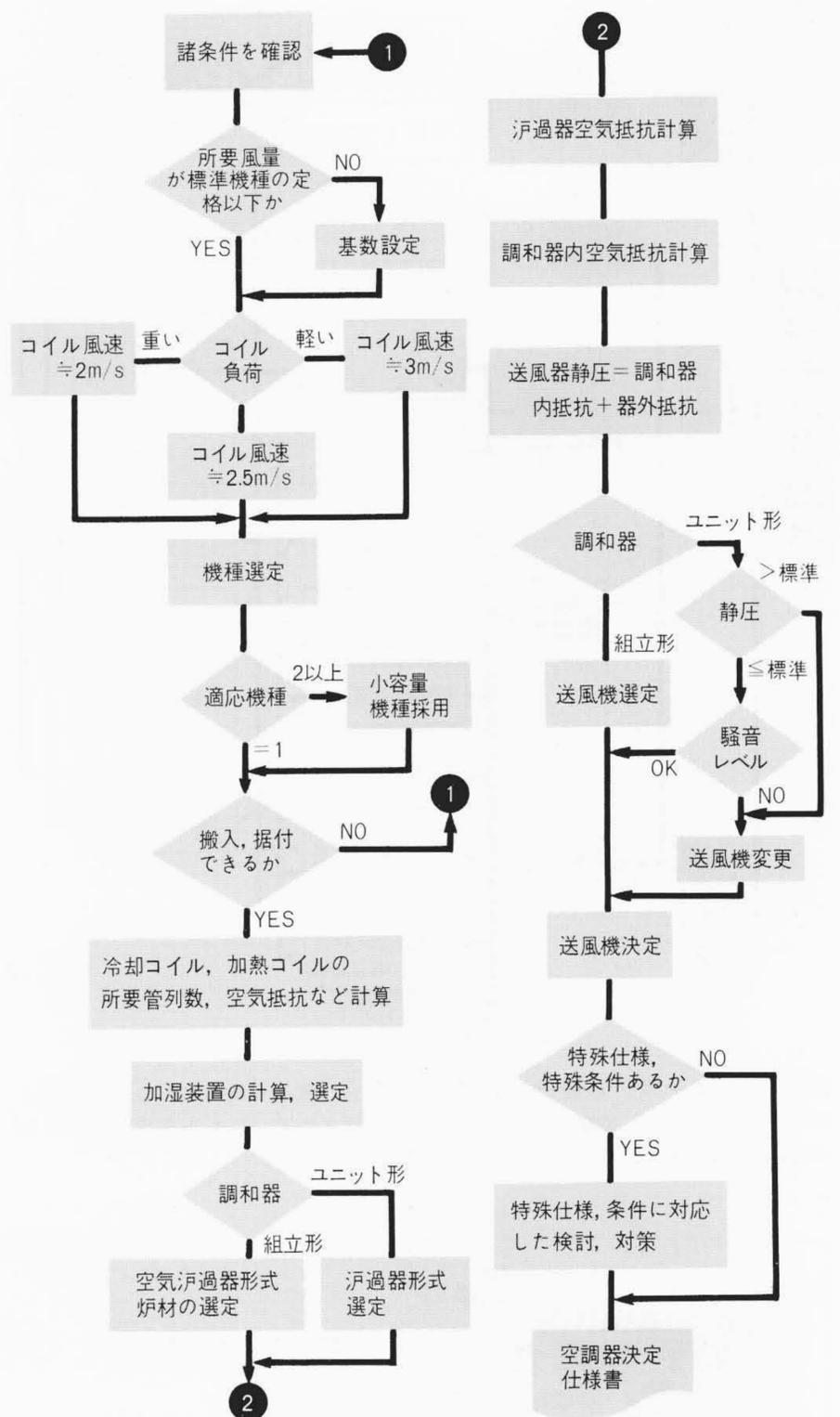


図7 空調器の設計手順 一つのシステムコンポーネントの選択も、慎重に検討されねばならない。空調設備の中の一つの重要コンポーネントについて、設計手順を例示した。

逐次その自動化が進められ省力化の実が挙げられてきた。しかし、更に快適環境をつくりながら、きめの細かい省資源、省エネルギー効果を挙げ、省力化をいっそう進めようとする要求に対して、近年、空調設備に対して電子計算機の導入が盛んになってきた。

制御用電子計算機は空調設備の総合的な監視、制御にふさわしい機能を備えており、最適制御のためのソフトウェアが着々と開発、整備されている。空調システムの最適化制御には多くの要因、多様な制御項目が関連づけられる必要があり、その概要を図8に示す。

4.4 空調システムの評価

設計の最終段階はシステムの評価である。経済性評価、信頼性評価、安全性評価など、種々の面から比較評価を行なって最適システムの決定に至るわけであるが、部分的な試作、試験によるほか、総合的に全システムを評価するための手段として、シミュレータの活用が有効である。空調シミュレータについては別に報告する機会もあろうが、これはシステムの評価だけではなく、新空調方式の開発、あるいは設置後の

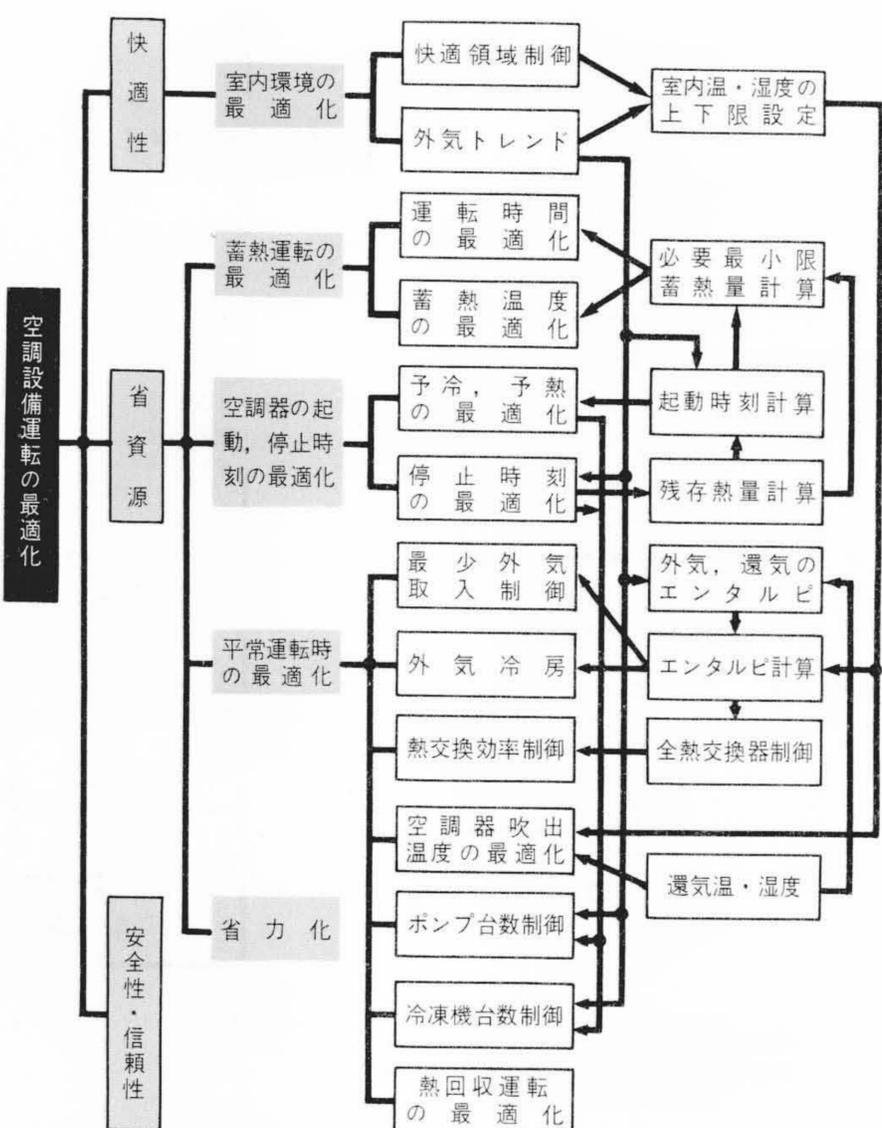


図8 空調システム最適化制御関連図 最適化制御は、多くの機器と多様な機能が連係、協調することによって遂行される。これを指揮、統合する頭脳が制御用電子計算機である。

システムの調整、改良などにも極めて有用である。

5 結 言

ビル用空調システムの計画に当たっては、システムの目的を快適空間、省エネルギー、地域環境との融和、経済性の向上などにおき、システム工学的に進めるべきであることを述べた。更に各目的項目に対応して、最近の新しい技術動向を紹介し、最適空調システム的设计手順を概説した。空調システムの計画に際して参考になる点があれば筆者らの幸いとするところである。

参考文献

- 1) 安富、岡本：超高層ビルにおける空調システムの今後、日立評論、56、483 (昭49-5)
- 2) 科学技術庁：システム工学の現状と展望(昭51年)
- 3) 安富、岡本ほか：建築における省資源、省エネルギー、オーム、172 (1974/11)
懸賞論文第一席の入選作であり、建築における省資源、省エネルギーの方法をよくまとめてある。ケーススタディによってその効果を具体的に算出している。
- 4) 林：超高層ビル空調の内外装、照明、換気の問題、空気調和と冷凍、27 (1968/8)
- 5) 柳町：「若い技術者に望む」空気調和・衛生工学、51、2、1 (昭52-2)
- 6) 戸ヶ崎：ヒートポンプ入門、空気調和・衛生工学、51、2、3 (昭52-2)
- 7) 田中：ヒートパイプの性能と最近の動向、空気調和・衛生工学、50、3、17 (昭51-1)
- 8) 柳町：日本における蓄熱そうとその応用技術の歴史と進化発展、空気調和・衛生工学、50、9、1 (昭51-9)



エネルギー アナライザ

永谷 隆
特許 第802446号 (特公昭50-15675号)

本発明は、電子顕微鏡によって薄膜を透過した電子像を観察するとき生ずる薄膜によってエネルギー損失を受けた電子と受け取らない電子とを分析するための平行平板型エネルギーアナライザに関するものである。

すなわち、本発明は、図1に示すように、平行平板電極①、②のうち一方の電極①は、無損失エネルギー電子とこれより小さなエネルギーをもつ損失エネルギー電子を含む電子流を電極①、②間に投射するための開口③をもち、この開口から入射した電子流中の無損失エネルギー電子の通路上で、電極①より最も離れた点Pで、他方の電極②が上記通路の接線となり、無損失エネルギー電子が上記点Pで電極②に接するように電極間隔 d 、電極間電圧 V_d 、及び粒子流の入射角 θ が定められ、かつ上記点Pで電極②より放出される二次電子用の開口④及び損失エネルギー電子用の開口⑤を電極①

に設けた構成としたものである。

このような構成とすることによって、無損失エネルギー電子は軌跡⑧を描いて点Pで電極②に接触し、点Pよりこれに接触した電子数に比例した個数の二次電子が電極面に直角方向に放出され、開口④を通過してコレクタ電極⑥に吸収されることとなる。また、損失エネルギー電子は軌跡⑨を描いて再び電極①にもどり、開口⑤を通過してコレクタ電極⑦に吸収される。よって、各コレクタ電極⑥、⑦の出力電流を比較すれば、無損失エネルギー電子と損失エネルギー電子の数の比を直ちに知ることができる。

また本発明によれば、開口④と⑤の位置は十分に離れており、開口の幅は電子線束の直径より十分大きくとることができ、開口に関する工作上的精度が問題にならなくなる。

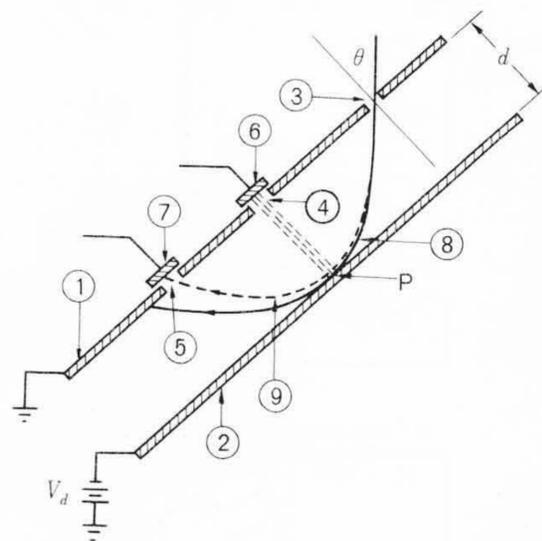


図1 エネルギーアナライザ断面図