

特集(2) 建築における省エネルギー

ビルディングオートメーションと省エネルギー

Energy Conservation in Building Automation Systems

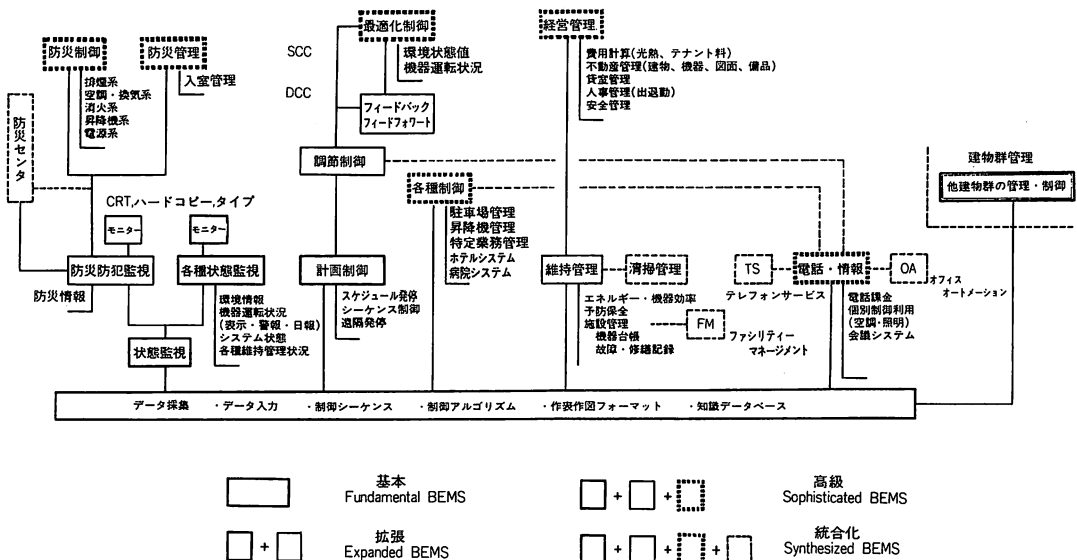
成瀬 彰彦*

Akihiko Naruse

1. はじめに

インテリジェントビルの出現から、アメニティー空間環境の実現、さらには、地球環境の保護という各時代の要請に従って、ビルディングオートメーションにおいても省エネ・省力・快適性の各項目においていろいろな試みがなされている。図-1に示すBEMSの構成は、それらの項目に関わるビルディングオートメーションの管理制御機能を基本・拡張・高級・統合化の4ランクに分けて示したものである。BEMS (Building Environment and Energy Management System) とは、建物の環境・エネルギー管理システムであり、「建物管理者が合理的なエネルギー利用のもとに、利用者に対して安全で衛生的かつ快適な環境や機能的な業務環境を、確実かつ効率的に維持保全するための制御・管理・経営システム」と定義される。

本論文では、ビルディングオートメーションにおける省エネルギーの実例として、都内のある事務所ビルを対象に行った、空調機自動制御機器のリニューアル前後の実測データを示す。これは、既設の空気式コントローラから、高機能化された最新式のDDC(Direct Digital Control)コントローラに置き換えた例であり、自動制御機器の更新時期を迎えている新宿の高層ビル群などの既設建物市場におけるリニューアル例として注目される。つぎに、図-1に示したような高機能化されたビルディングオートメーションシステムを運用していく際に重要な役割を果たすと思われる、ビルの運転管理者に対するアドバイザーシステムの一例を紹介する。これは、空調機廻りの室内環境および消費エネルギーに関わる設定管理などの運用をサポートするエキスパートシステムである。



*山武ハネウエル(株)ビルシステム事業部マーケティング部
〒150 東京都渋谷区渋谷2-12-19東建インターナショナルビル

図-1 BEMSの構成

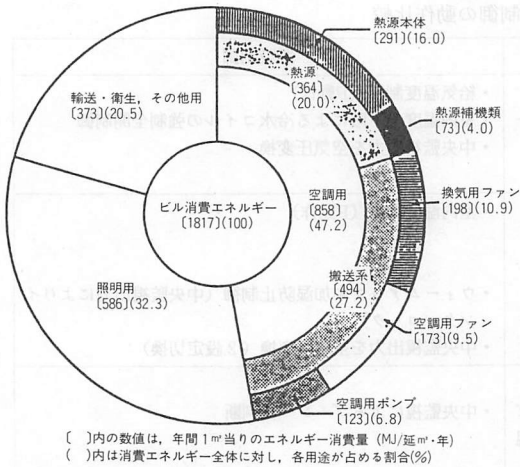


図-2 建物の消費エネルギーの内訳

2. ビルディングオートメーションにおける省エネルギーの実例

図-2の建物の消費エネルギーの内訳に示すように、建物の全消費エネルギーの約半分は空気調和で使用されるエネルギーであり、そのうち約6割がポンプやファンなどの搬送系で、約4割が冷凍機やボイラーなどの熱源系で消費されている。このような空気調和に関わる消費エネルギーについて、PAL(Perimeter Annual Load)やCEC(Coefficient of Energy Consumption)のようにマクロ的視点からの省エネ基準は確立されているものの、空調機といったコンポーネント単位で、室内環境状態とエネルギー消費量を総合的に評価する明確な基準が存在していない。そこで、ある事務所ビルにおけるビルディングオートメーションシス

表1 測定対象空調ゾーンの概要

所在地	東京都
対象床面積	約 900㎡
方位	南
空調方式	単一ダクト + FCU併用方式 (定風量方式) (2管式)
湿度制御	除湿再熱, 蒸気加湿
省エネ手法	外気冷房

テムのリニューアルを対象として、空調機廻りの室内環境および消費エネルギーを実測し、空調機の運転管理の現状をとくに省エネという立場から認識することとした。

2.1. 測定対象

測定対象とした事務所ビルの空調ゾーンの概要を表1に、空調システムおよび計測ポイントを図-3に示す。空調システムは、冷水・温水・蒸気供給の単一ダクト定風量方式空調機と冷水・温水供給の二管式ファンコイルユニットの併用である。計測ポイントは、それぞれの冷水・温水・蒸気の出入口温度・流量、給気・還気・外気の温度・湿度・風量、および、室内インテリア・ペリメータの温度・湿度・放射温度である。

2.2. 測定方法

今回の測定では、自動制御機器のリニューアルによる効果を正確に把握するため、既設制御系と仮設制御系の二通りの制御系を用意し、同一の空調システムおよび同一の空調ゾーンに対して一週間単位で交互に両制御系による運転を行った。既設制御系は中央監視装置のゾーン一括(10系統の空調ゾーンが一括)の設定値管理制御であり、端末は空気式コントローラが分散設置されたシステムである。仮設制御系は各種の最適制御をおりこんだ DDC コントローラを用いて、一系

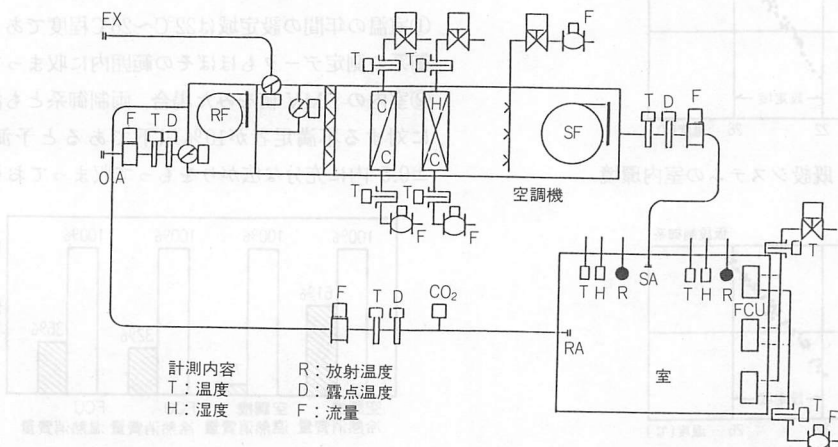


図-3 空調システムと計測ポイント

表2 仮説制御と既設制御の動作比較

項目	仮説制御	既設制御
主温度制御 (インテリア)	<ul style="list-style-type: none"> 室内温度制御 (PID動作) 給気温度上下限リミット制御及び立上がり時オーバーシュート防止制御 室内温度設定誤差ゼロ 	<ul style="list-style-type: none"> 給気温度制御 (P動作) 室内温度上下限による冷水コイルの強制全開制御 中央監視出力を空気圧変換
主湿度制御	<ul style="list-style-type: none"> 室内湿度制御 (PID動作) 除湿時の再加湿防止制御 給気温度低湿時の加湿防止制御 ウォームアップ中加湿, 除湿防止制御 室内湿度設定誤差ゼロ 	<ul style="list-style-type: none"> 室内湿度制御 (P動作) ウォームアップ中加湿防止制御 (中央監視出力によりインターロック) 中央監視出力を空気圧変換 (2設定切換)
その他の温湿度制御	<ul style="list-style-type: none"> ゼロエナジーバンドコントロール 個別外気冷房判断 (外気エンタルピと室内エンタルピ比較, 及び外気温度と室内温度比較, 及び外気露点温度上限リミット) 外気冷房中の室内温度によるダンパ制御 (PID動作) 	<ul style="list-style-type: none"> 中央監視によるゾーン一括判断 外気と還気のミキシング温度によるダンパ制御 (P動作)
ペリメータFCUの温度制御	<ul style="list-style-type: none"> フロア毎のペリメータ温度制御 (PID動作) インテリア空調とのミキシングロスの防止制御 	<ul style="list-style-type: none"> ゾーン一括の中央監視判断による変流量制御
動力発停制御	<ul style="list-style-type: none"> 最適起動制御の個別判断 	<ul style="list-style-type: none"> ゾーン一括の中央監視判断による最適起動判断
その他の制御	<ul style="list-style-type: none"> 冷温水コイル流量が設計流量以上流れない様にバルブ開度に上限リミット, 及び開度スケジュール 温度センサに影響する壁面温度関係の補正 	

統の空調ゾーンごとに分散化制御を実現したシステムである。表2に既設制御系と仮説制御系の動作比較を示す。なお、測定期間は1988年6月から1989年5月までの一年間である。

2.3. 測定結果

図4～図7に示す測定結果より、室内環境およびエネルギー消費量に関して以下の点が明らかとなった。

(1) 室内環境

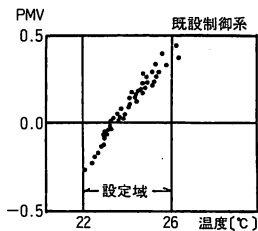


図-4 既設システムの室内環境

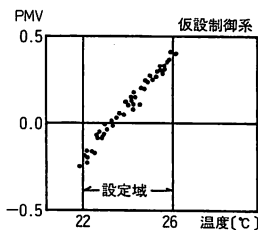


図-5 仮設システムの室内環境

室内環境については、温度・湿度・CO₂濃度を測定している。これまでの室内環境管理は、そのほとんどが室内の温度や湿度が設定域内にあることを監視する程度のものであったが、設定域自身が年間を通じてその空調ゾーンに適しているか否かを検討することも重要と考えられる。そこで、今回は温度・湿度・気流速速度・放射温度の温熱要素と季節による着衣量の変化、さらに人間の活動量の相違も考慮した PMV (Predicted Mean Vote) を評価基準として採用し、図-4および図-5に一年間の両制御系の測定データをプロットした。これらの図から以下の点が指摘される。

- ①室温の年間の設定域は22℃～26℃程度であり、両制御系の測定データもほぼその範囲内に収まっている。
- ②室内の PMV 値をみた場合、両制御系とも温熱環境に対する不満足者が10%以下であると予測される±0.5 内に充分な広がりをもって収まっており、室温

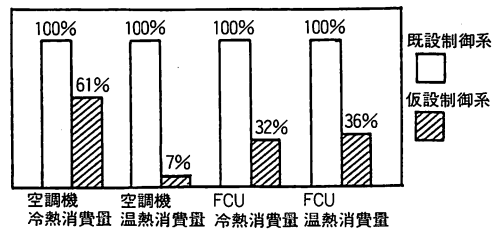


図-6 年間消費エネルギーの比較

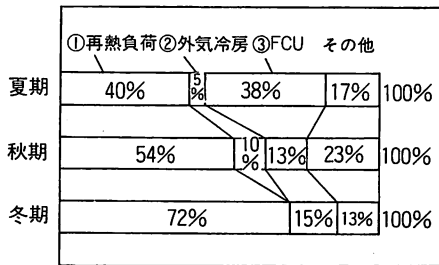


図-7 冷熱消費量差異の要因分析

の設定域も居住者にとって充分満足なものといえる。

(2) エネルギー消費量

図-6に、既設制御系の一年間のエネルギー消費量を100%とした場合の仮設制御系のエネルギー消費量を示す。この図から、仮設制御系でのエネルギー消費量は既設制御系に比べて非常に省エネとなっていることが明らかである。この原因について詳細な診断を行った結果、既設制御系では次のような問題点が生じていることが判明した。

- ①過度の冷水消費や外気導入により、 unnecessaryな再熱負荷が生じている。
- ②外気冷房の誤りから、室内よりもエンタルピーの高い外気を導入している場合がある。
- ③ペリメータ部に設置されたファンコイルユニットにおいて、過度の冷温水量が消費されている。

図-7の既設制御系と仮設制御系の冷熱消費量差異の要因分析に示すように、上記の要因のうち、とくに① unnecessaryな再熱負荷の影響で多大なエネルギー浪費が生じていることが確認された。

2.4. 空調機の運転管理の現状

今回の測定により、二種類の制御系で室内環境状態に差異がなくとも、空調機で消費されているエネルギーに大きな差異が生じていることが示された。これは、以下に示すような空調機の運転管理の現状における問題点が原因と考えられる。

- ①自動制御機器を通して中央監視装置に収集されている各種センサデータおよび機器状態データを有効に活用するシステムが存在していない。
- ②運転管理者が空調設備の最適運転を行おうとしても、その判断あるいは基準となる有益な情報が少ない。
- ③空調システムが複雑となるにつれて、運転管理者に対しても豊富な経験が要求されるが、このニーズを満足する運転管理者が不足している。

以上のような空調機の運転管理の現状をふまえ、今後ビルディングオートメーションにおけるより一層の

省エネ運用を行うためには、室内環境とエネルギー消費量を総合的に評価し、運転管理者に対して有益な情報および適切なアドバイスの提供できるアドバイザリーシステムが望まれる。

3. 空調機廻り運用アドバイザリーシステム

前章で指摘したように、ビルディングオートメーションにおけるハードウェアおよびソフトウェア技術の進展にともない、高機能な自動制御機器による快適でより省エネな空調機運転が可能となった。しかしながら、その反面、機能向上にとまなう情報量および設定要素の過多、さらに経験豊富な人材の不足のために、ビルディングオートメーションシステムの機能が十分に活かされていないケースも多い。そこで、運転管理者に対する空調設備最適運転制御のための運用アドバイザリーシステムが重要となってくる。本章では、このようなニーズに答えるべく開発された空調機廻り運用アドバイザリーシステムを紹介する。

3.1. システム構成

空調機廻り運用アドバイザリーシステムは、図-8のアドバイザリーシステム構成画面に示すように、中央監視装置の共用ディスクからオンラインでデータを取り込み、データベースおよびルールベースに基づいて推論を実施し、その結果をオペレータメッセージの形で表示するというものである。以下に、各構成要素を簡単に説明しておく。

①推論エンジン

環境設定値および空調機運転状況について、診断を実行させる要素。

②ヒューマンインターフェイス

診断を進める際の対話や、データベースおよびルールベースの参照あるいは修正時のグラフィックを提供する要素。

③データベース

室内および空調機廻りの諸元、あるいは、クレームデータをまとめたもの。

④ルールベース

診断に必要な知識をルールの形にまとめた知識ベースの一種。

⑤外部プログラム

定量的評価を行うためのシステムシミュレーションなどのプログラム。

⑥入出力モジュール

自動制御機器の設定値や制御パラメータなどをオン

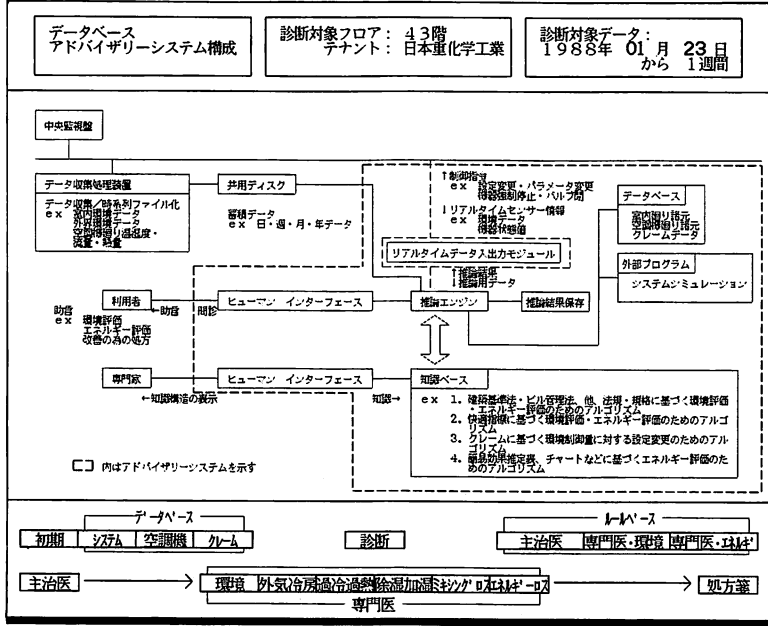


図-8 アドバイザーシステム構成画面

データベース
クレームメンテナンス履歴

診断対象フロア：43階
テナント：日本重化学工業

診断対象データ：1988年01月23日
から1週間

発生月日	種類	クレーム内容	申告者	性別	年齢	作業月日	作業内容	作業者
1988.07.07	温冷感	冷房時蒸し暑い	斉藤	女	40	07.07	冷房設定の変更 (25.5℃)	伊藤
1988.07.07	温冷感	冷房時蒸し暑い	斉藤	女	40	07.07	除湿設定の変更 (55%)	伊藤
1988.08.30	騒音	吹き出しの騒音	湯沢	男	37	08.30	アネモ開度の調整	前田
1988.12.02	温冷感	暖房時寒い	斉藤	女	40	12.02	暖房設定の変更 (22.0℃)	伊藤
1989.01.08	臭気	よどんだ感じ	小川	男	50	01.09	アネモ開度の調整	前田
1989.01.20	温冷感	暖房時窓際暑い	湯沢	男	37	01.20	F C U暖房設定の変更 (22.0℃)	徳山
1989.04.13	臭気	煙草の臭い	小川	男	50	04.13	C O2 濃度測定 (1100ppm)	徳山
1989.04.13	臭気	煙草の臭い	小川	男	50	04.20	集塵器の設置	前田
1989.04.13	臭気	煙草の臭い	小川	男	50	04.21	C O2 濃度測定 (990ppm)	徳山

データベース

初期 シフト 空調機 クレーム

診断

主治医 専門医・環境 専門医・工機

主治医 → 環境 外気冷房過冷過熱給湯加湿デシカント乾燥 → 処方箋
専門医

図-9 クレームデータベース画面

ラインで読込、あるいは書換を行うための入出力モジュール。

3.2. データベース

データベースは、室内・空調機廻り諸元データベース、および、クレームデータベースなどより構成される。図-9には、クレームデータベース画面の一例を表示している。

クレームデータベースは、その建物・テナントの固有の快適域を示す有効な指標であり、通常その数も少ないため、全てのクレームデータを保存しておくことが望ましい。また、クレームデータベースには、クレーム発生日時・場所・クレーム内容・申告者の性別・年齢、その他の関連項目の属性を持たせておくことで、将来的には、ビルの設計時あるいは竣工時にクレーム

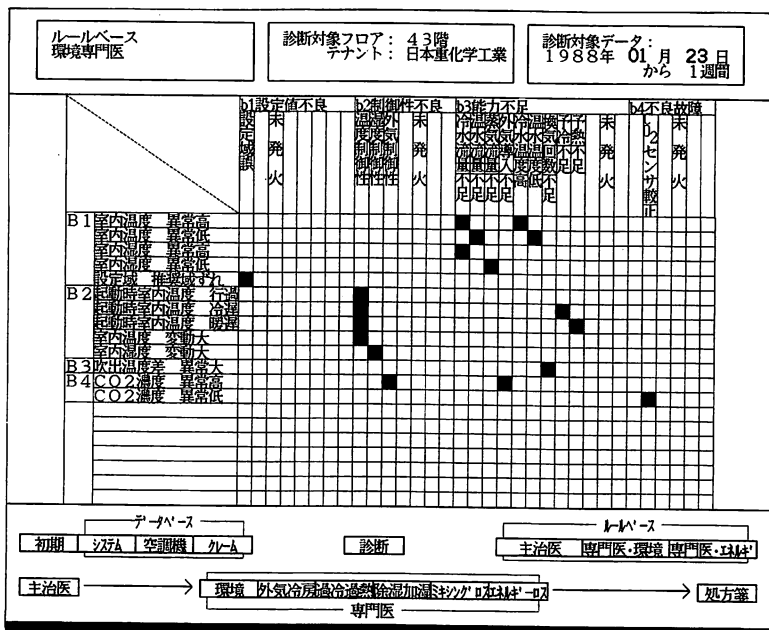


図-10 環境専門医ルールベース画面

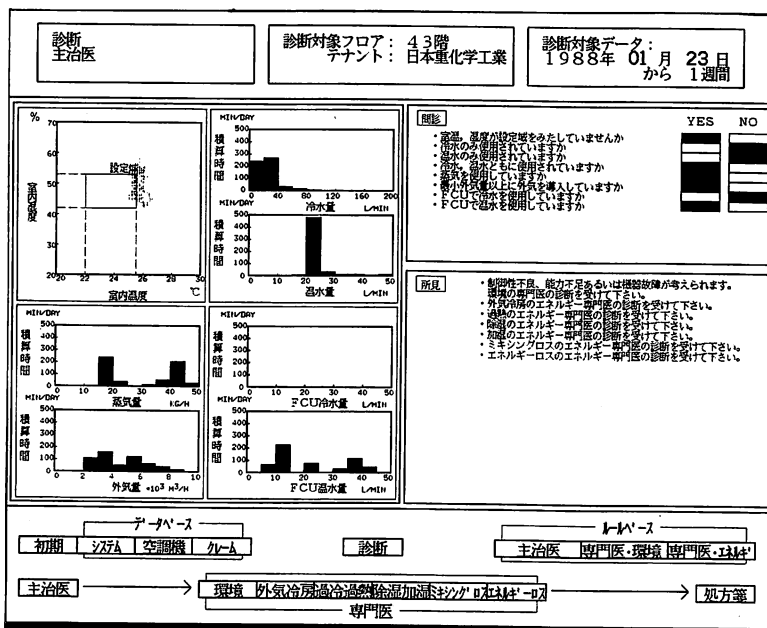


図-11 主治医の間診画面

領域を想定することもでき、設備設計者や運転管理者へ有効なフィードバックを行うことが可能となる。

3.3. ルールベース

ルールベース表現には、FTA(Fault Tree Analysis)やFMEA(Failure Mode and Effects Analysis)などが考えられるが、ここでは、不具合の症状とその

原因を因果律表の形でまとめたものを用いている。図-10に示すのは、環境専門医(環境に関する診断のエキスパート)のルールベースであり、室内温度・湿度・CO₂濃度などの環境状態と設定値不良・制御性不良・能力不足・機器故障などの関連が示されている。

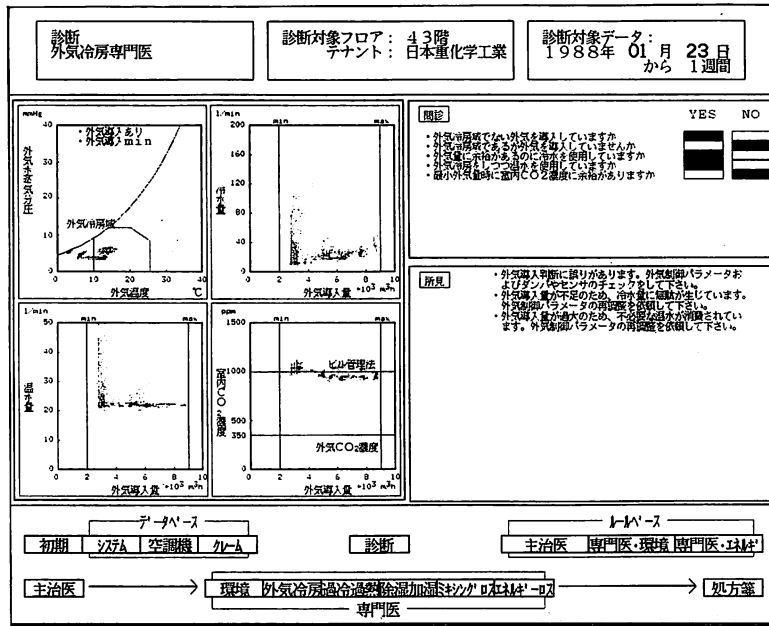


図-12 外気冷房専門医の検査画面

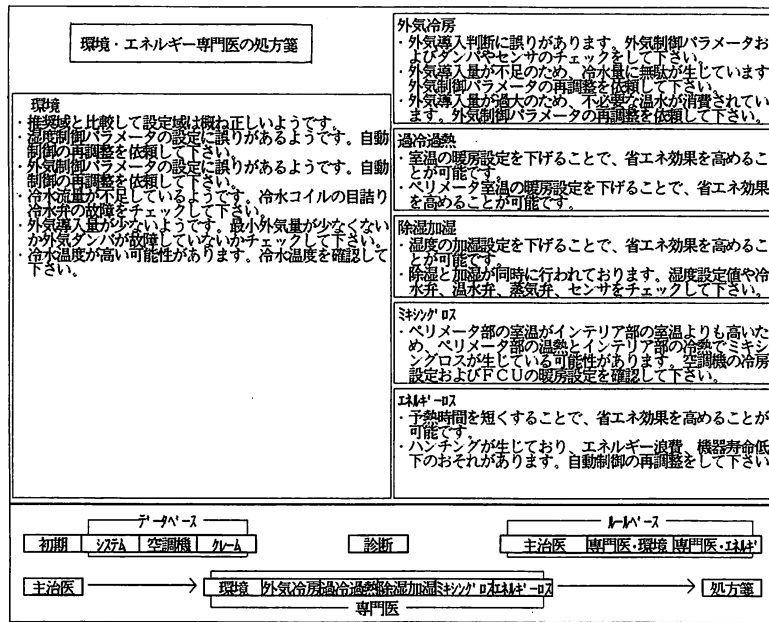


図-13 処方箋画面

3.4. 診断

上記したようなデータベース、ルールベースおよび測定されたセンサデータを用いて、空調機廻りの室内環境およびエネルギー消費量に関して診断を実施する。診断は、三段階に分かれている。はじめに、ジェネラリストである主治医による問診で不具合箇所の断定をした後、指摘された箇所のスペシャリストである専門

医による精密検査が実施される。主治医および専門医による検査の段階では、症状を特徴づけるような図表が提示され、アドバイザーシステムとの問診に答えていくことにより、所見が提示される。最後に、各専門医の所見を処方箋の形にまとめ提示する。

(1) 主治医の問診

対象とする空調機廻りの環境・エネルギーの概略デー

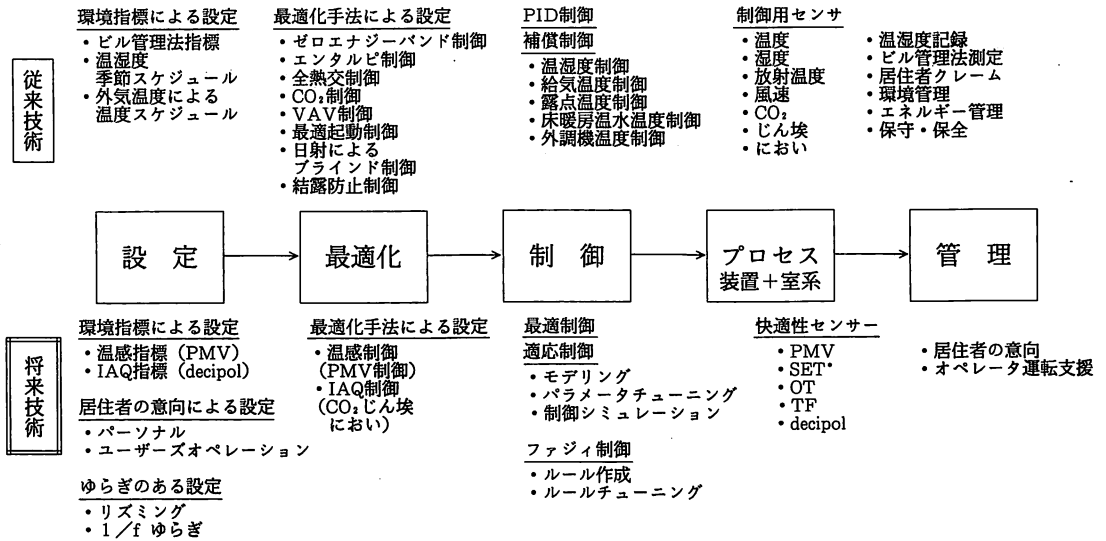


図-14 空調制御に関わるビルディングオートメーション技術

タより主治医の間診を実施し、必要に応じて各分野の専門医を紹介する。図-11の画面に示すように、主治医の間診画面では、室内環境状態とエネルギー消費状態が表示され、室内温度・湿度の不具合、および空調機の運転モードの切り分けが行われる。

(2) 専門医の検査

対象とする空調機廻りの環境・エネルギーの詳細データより各分野の専門医の精密検査を実施する。専門医の検査は、環境・外気冷房・過冷過熱・除湿加湿・ミキシングロス・エネルギーロスの6部門より構成される。図-12に示す画面は、外気冷房専門医の画面であり、導入外気状態・冷温水消費状態・CO₂濃度分布が表示され、外気導入判断および導入量について診断される。

(3) 処方箋の発行

主治医の間診、専門医の検査結果より、対象とする空調機の運用アドバイスを処方箋の形に総括的にまとめ、オペレータガイダンスとする。図-13に発行された処方箋の一例を示しておく。個々の専門医の所見について疑問が生じた場合は、専門医の検査やルールベース、データベースの画面に戻って確認することができる。

4. おわりに

以上、ビルディングオートメーションと省エネルギーという題目で、自動制御機器のリニューアルによる省エネの実例と、空調機器最適運転のための運用アドバイザーシステムの一例を紹介した。

最後に、空調制御に関わるビルディングオートメーション技術の一例を図-14に示しておく。今後も、図に示すような要素技術を中央監視装置あるいは自動制御機器などのビルディングオートメーションシステム上で実現することにより、快適でより省エネの実現されたアメニティー空間を創造していく所存である。

参考文献

- 1) 中原信生, ほか 6名; 建物の環境・エネルギー管理システム(BEMS)の実態に関する基礎調査, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1990), 973~976
- 2) 伊藤尚寛, 中原信生; BEMSの効果的活用のためのエキスパートシステムに関する考察, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1990), 977~980
- 3) 松縄 堅, ほか 3名; 空調機廻りの室内環境・エネルギー診断システムの開発, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1990), 1001~1004
- 4) 湯澤秀樹, ほか 3名; 空調機廻り運用アドバイザーシステムの開発, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1991), 投稿中
- 5) 建築設計資料集成, 第10巻, 丸善出版