

技術レポート 8

ビルの省エネルギー事例研究

平成 8 年 3 月

社団法人 大阪ビルメンテナンス協会
設備保全部会

技術レポート 8

ビルの省エネルギー事例研究

平成 8 年 3 月

はじめに

省エネルギーについては最近さまざまな角度より論じられているが、過去のオイルショックを契機に、次の4つの問題、①石油供給の不安定性、②地球環境問題、③規模の経済の限界、④原子力の不安定性等が顕在化してきたことが本質的な要因と考えられてきた。そして、こうした要因に対処するためエネルギー・システムの改善や改革が精力的に行われているがその主なものとして、①太陽エネルギー等の新エネルギーの開発、②省エネルギーの社会的技術的努力、③電力を中心とする分散型エネルギー設備、システムの開発等がある。

最近のビルでは快適性の追求のほか建築物の大型化高層化が進み、ビルの環境維持のために大量のエネルギーを消費しているので、その省エネルギーはビルの経営コストの低減の面からも極めて重視されている。

大阪ビルメンテナンス協会設備保全部会ではビルの省エネルギー問題について、研究を進めてきたが、今回関係者の御協力を得て、いくつかの省エネルギー対策の実施事例と関連する問題を集め技術レポート8として編集したものである。

皆様方のビル設備運転や省エネルギー施策立案の一助にして頂ければ幸甚である。

目 次

はじめに

1. 某新聞社における省エネルギー設備 P 1 ~ P 6
2. 外気冷房の導入 P 7 ~ P14
3. 空調機の風量制御する方法 P15 ~ P18
4. 冷凍機の運転台数制御する方法 P19 ~ P26
5. 冷却水配管系の改良 P27 ~ P33
6. 照明設備の省エネルギー P35 ~ P41
7. 燃料電池のビルへの実用化 P42 ~ P48

あとがき

1. **某新開社における省エネルギー設備**

1. 省エネルギー基本方針

省エネルギーの基本方針を、人に優しい環境と省エネルギーのベストミックスを図るとともに、人間の社会活動に伴って急速に進展しつつある地球温暖化の防止に向けて積極的な行動を取るものと定めた。

具体的な省エネルギー手法として、下記の設計方針を立てた。

- ①ビルの竣工直後だけでなく、将来にわたってその時代に合致した最も省エネルギー効果が高い運営が可能なシステムとする。
- ②省エネルギーの3原則、すなわち『エネルギー需要を最小限にする』、『エネルギーを高効率で利用する』、『余剰エネルギーを有効に活用する』に沿った基本ルールを尊重する。
- ③自然エネルギーを積極的に利用する。
- ④オフィスゾーンにおいては、人のパーソナルな要求に答え得るシステムとし、それと省エネルギーを効果的に結びつける。
- ⑤電算室などエネルギー需要の高い部分を重点的に対策する。
- ⑥運営システムにおいて、省エネルギー効果の高い制御・維持・管理手法を確立する。
- ⑦ライフサイクルコストやスペースの有効活用を重視することも省エネルギーの一つであるとの認識に立った計画とする。

2. 省エネルギー設計・施工・運営上の要点

主な省エネルギーシステムを列記する。

(1) 大容量蓄熱槽による深夜電力の積極利用と熱源機器の効率的運転

冷水専用槽2000m³、冷温水兼用槽1000m³、計3000m³の蓄熱槽を採用した。特に冷水専用槽は、車路スロープに生じる建築平面上のデッドスペースを巧みに活用し、深さ20mの温度成層型蓄熱槽とした。実用レベルで深度20mの蓄熱は日本で初めての試みである。従来の床ピット式の蓄熱槽に対し、有効率の向上が36%期待できる。また、蓄熱制御コントローラーの採用により、最適蓄熱槽制御を行っている。

(2) 搬送動力の徹底した軽減

冷温水ポンプに、インバーターによる可変水量システムを導入した。さらに、空調機（全自動空調機）にインバーターによる可変風量システムを導入した。VAVユニット、おおむね事務室面積120m²ごとに設置され、きめ細かい温度制御と省エネルギーを同時に可能とした。また、ペリメーター負荷処理としてウォールスルーヒートポンプを採用

し、搬送エネルギーを低減した。ウォールスルーヒートポンプは、部分運転時にいっそ
うの省エネルギー効果を上げるとともに、きめ細かい温度制御により快適環境の実現に
も大きく貢献している。

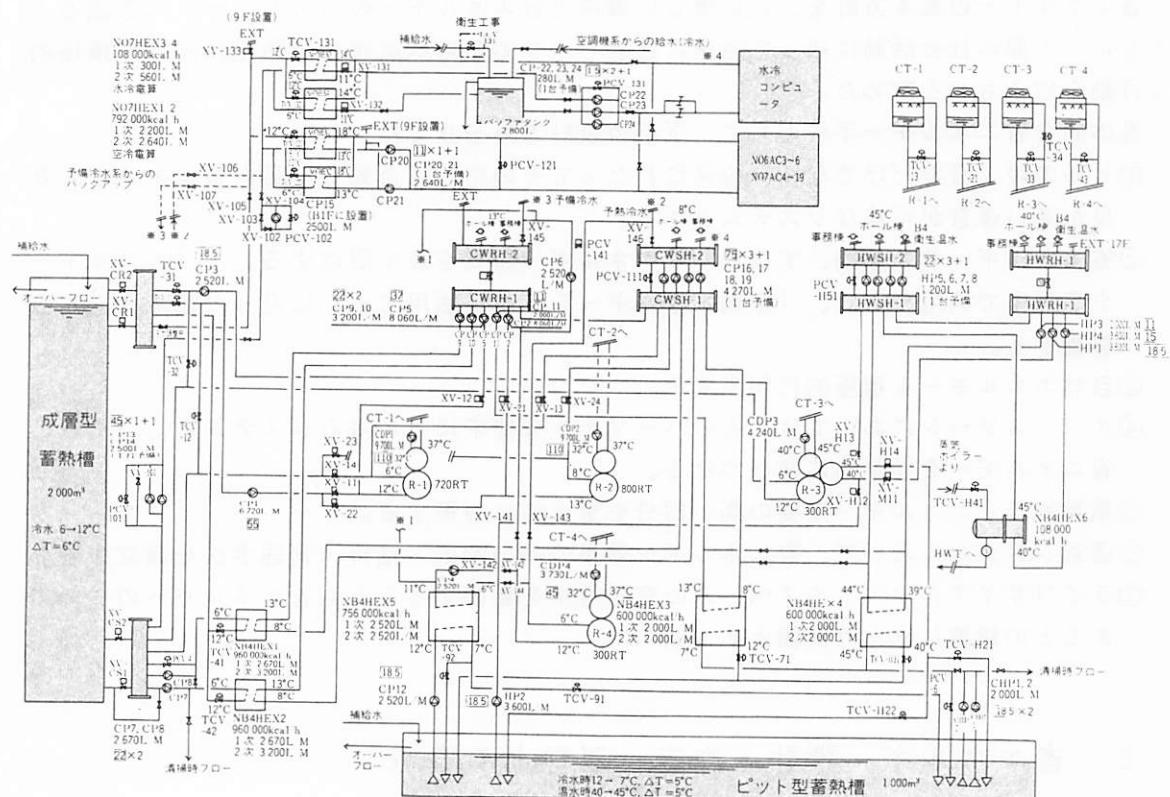


図1 热源系統図

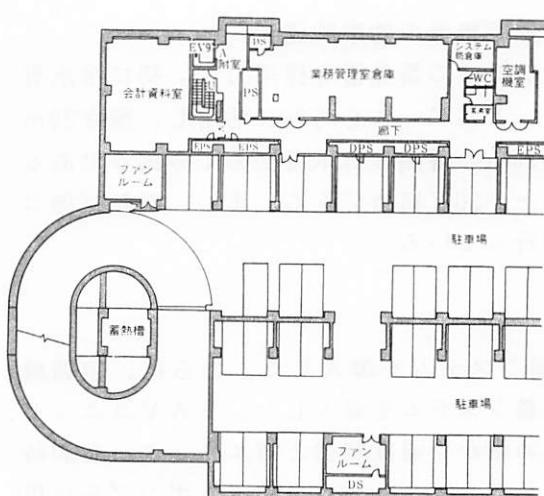


図2 地下階平面図(部分)

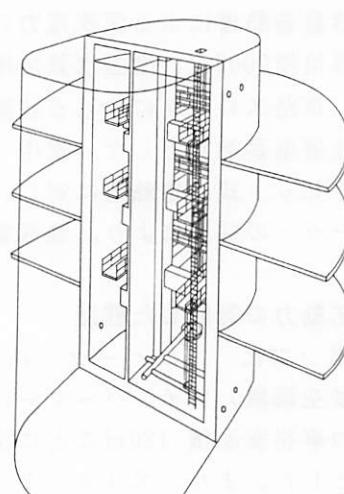


図3 大深度温度成層蓄熱槽

(3) 外気の適正な制御を行う全自动空調機の採用

全自动空調機はDDCを内蔵しており、空調機単位で最適空調運転が可能である。外気制御としては、エンタルピー制御による全熱交換及び外気冷房。さらにCO₂濃度制御や立ち上がり時外気取入れ遮断機能を有している。

(4) 電算機室の空調エネルギーの徹底した低減

ドライコイル方式を採用し、再熱エネルギーを大幅に低減した。また、電算負荷を主に受け持つ冷凍機をダブルバンドル型とし、廃熱を積極的に活用した。

(5) 快適な視環境と照明エネルギーの軽減を両立する照明システムを実現

深型ライン照明により、快適な視環境と照明エネルギーの軽減を両立した。照明器具のランプは、遮蔽角が30°となる位置に設けられており、端末機の画面にルーバーなしでも移り込まない配慮がされている。また、点滅方式は配線を変えることなく点滅パターンを容易に変更できるレイアウトフリー方式を採用し、きめ細かい管理を可能にした。

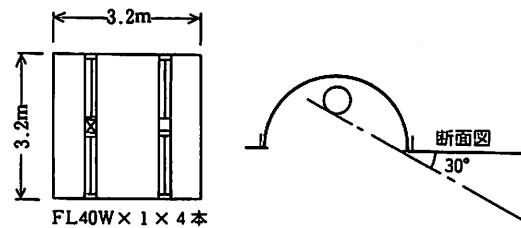


図4 照明器具断面の考え方

(6) 中水設備の積極利用

既存中水処理設備の使用状況を確認し、新設部分にも中水道を導入した。

(7) 兼用排煙設備・加圧防煙設備によるスペースの有効活用

空調機で排煙を兼用する方式の他に、新たに付室加圧ファンのみで排煙しない加圧防煙システムを開発実現し、大幅な省スペースと安全性の向上を図った。

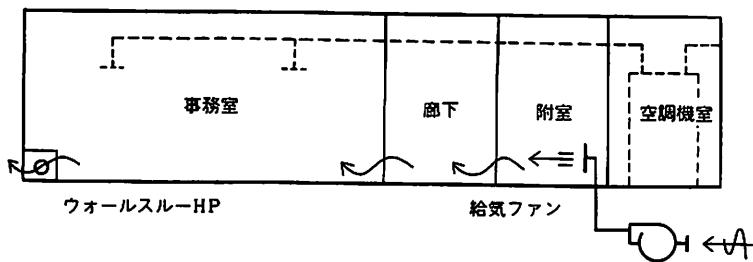


図5 加圧防煙システム

(8) サニタリーゾーンの徹底した省エネルギーの実施

節水型大便器、個別自動洗浄型小便器を採用し、水使用のロスをなくした。さらに、便器と幅木からの局所排気により、トイレの無臭環境の確保と排気量の低減を図った。無臭環境は、トイレ洗浄水の低減効果も期待できる。また、給油温度を一定にするとともに冷凍機の廃熱再利用による給湯システムとすることでエネルギーを大幅に節約した。

(9) 力率の改善

力率のいっそうの改善を目指し、力率を中央監視で常時監視するとともに、進相用コンデンサーの台数制御を行った。

(10) 高調波対策による省エネルギーの実施

輪転機動力にアクティブフィルタを採用し、高調波対策とランニングコストの低減を図った。

(11) 中央監視システムを利用した運転・制御・維持管理システムの導入

個別分散型中央監視システムを採用し、熱源、空調機、動力、照明などの発停スケジュール、保守スケジュール管理などを自動化し、人員を削減できるシステムとした。また、電気錠と扉開閉感知による防犯システムを採用し、警備人員の削減を図った。

(12) 耐久性・更新性・オフィスユースに対する対応性を省エネルギーとしてとらえた

配管材はステンレスを主体とし、耐久性を向上させた。

また、将来対応の予備設備スペースとして、メカニカルウォールを採用した。

事務室ゾーンに全面低床型フリーアクセスを採用し、ワイヤリング対応性を高いレベルで設定した。

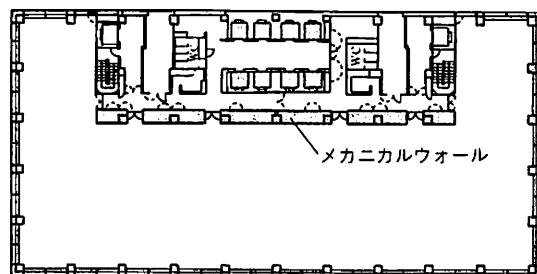


図6 基準階平面図

3. 建築概要

用途地域	商業地域
敷地面積	21 109.45 m ² (6 385.61 坪)
建築面積	5 876.46 m ² (1 777.63 坪)
延床面積	60 040.32 m ² (18 162.20 坪)
駐車場面積	15 125.75 m ² (4 575.54 坪)
工 期	1990年5月～1992年8月

階 数 地下4階 地上17階
高 さ 高さ71m, 基準階高さ 3.9m
天井高さ 2.7m
駐車台数 333台
建物用途 事務所 音楽ホール 駐車場

4. 設備概要

設備概要を以下に示す。

・電気設備

受 電 66kVループ受電（既設）
主電圧器 S F₆ 絶縁, 10MVA × 3
自家発電 ガスタービン2500kVA × 2
照 明 深型ライン照明（1600mmピッチ）
床配線 低床型フリーアクセス
中央監視 分散型光LAN方式
特殊設備 ホール特殊照明設備, ホール音響設備, ホール映写, 映像設備
TVスタジオ特殊設備, 写真スタジオ特殊設備

・空間設備

熱 源 省エネ型ターボ 800Rt × 2 + 300Rt × 1,
ダブルバンドルターボ 300Rt × 1, 炉筒煙管ボイラ2.4t × 2（加湿用）
蓄熱槽 積型2000トン（深さ20m）, ピット式1000トン
空 調 基準階 全自動空調機, TWING（ウォールスルーヒートポンプ）
電算階 床下吹出し空調機
排 煙 加圧排煙及び加圧防煙
(建設大臣特別認定)

・衛生設備

給 水 重力式と圧送式の併用
給 湯 中央式及び局所式
衛生器具 脱臭便器
中 水 暖気濾過法（既設利用）
消 火 スプリンクラー消火（予作動式共）, 泡消火, ハロン消火, 連結送水管

・昇降機設備

事務棟用 乗用 180m/min × 8台, 非常用 150m/min × 8台

ホール用 乗用 90m/min × 1台, 荷物用 45m/min × 1台
駐車場用 乗用 45m/min × 1台

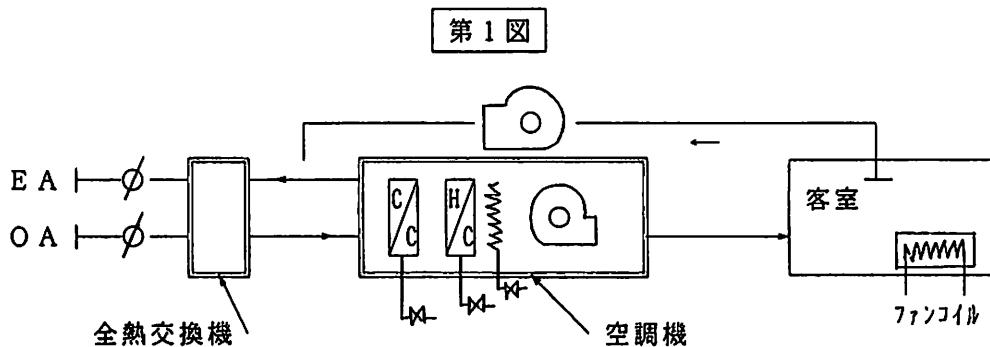
・その他設備

2段式機械駐車設備, ダストスクリュー式ゴミ処理設備

2. 外気冷房の導入

「省エネ」が言葉だけの存在になり、意識の中にあるにもかかわらず、ともすればその本質を忘れがちになる昨今、ホテルの客室系統空調機に、従来無かった外気取入用のバイパスダクトを設置することになり、省エネの原点ともいえる「冬期における外気冷房」について、導入の経緯と省エネルギー効果を調査した結果を報告します。

1. 従来の空調制御（バイパスダクト導入前）



従来のシステムでは、第1図の様に、外気（OA）は全熱交換機を通過し、必ず排気（EA）と熱交換しなければならない。

基本的に冬は暖房のみを考慮した設計であったと思われるが、主たる冷暖房はファンコイルで行ない、空調機はベースとなる室温の調整と換気をするものである為、現実には室温が上がりすぎ、冷房を必要とする場合が多く、常に冷凍機が運転状態であった。

外気の直接取入による外気冷房については、以前より検討事項として話し合われていたが、費用もかかることからすぐに実施に踏み切れず、第一段階として全熱交換機の停止が提案された。

2. 全熱交換機の停止

客室系統の空調機には、外気温度を検出して室内外の極端な温度差を防止するために、温度設定値を自動的に調整する外気補償制御が組み込まれており、この制御方向を反転させるために、冷暖房切替信号を中央制御卓から指令できる仕組みになっていた。

しかし、ホテル側からの温度制御に関する要求（外気温度に関係なく目標温度を固定した

もの)に答えるためには、このシステムがかえって仇になり、事実上使用しない状態であったので、この冷暖房切替信号を利用し、全熱交換機の遠隔発停を行うため、実験的に制御回路を改造した。

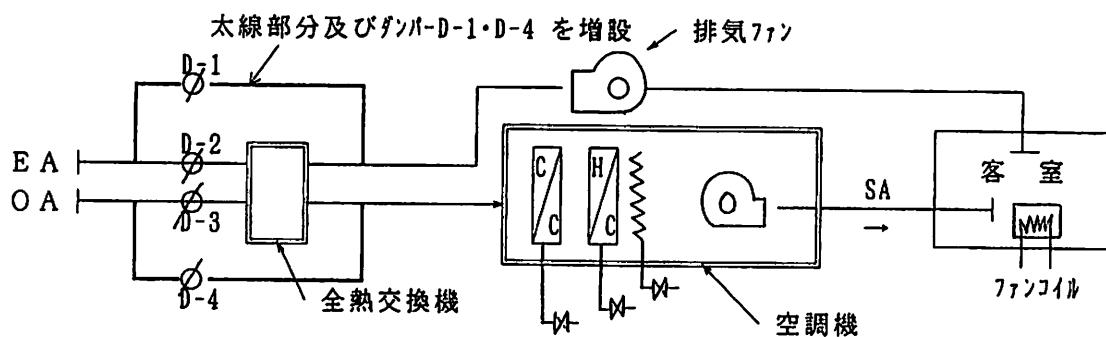
ところが全熱交換機のメーカーへこの使用方法について問合せたところ「停止した状態での通風は、熱交換ドラムの変形から寿命の短縮につながるので、外気条件(湿度)によるが晴天時で8時間、雨天時では1時間以上の連続停止は好ましくない」との回答であった。

このため全熱交換機の停止通風は断念したが、この実験を行ったことによって冷凍機運転による送風下限温度が12°C前後であるのに対し、外気直接取入では外気温度に左右されるものの外気が11°C以下であれば送風温度を12°C以下にでき、客室の温度を下げるにもより大きな効果があることを確認できた。

3. バイパスダクト増設工事

簡潔で且つ中央制御卓から遠隔操作できる方法として、第2図の様な改造を行なった。

第2図



全熱交換機運転時は、ダンパーD-1・D-4を閉鎖し、D-2・D-3を開放することにより、外気と排気の熱交換を行う。

また停止時、外気直接取入を行う場合は、D-1・D-4を開放し、D-2・D-3を閉鎖することにより、全熱交換機への停止通風を遮断する。全熱交換機の発停及びダンパーの連動開閉制御には、前述の冷暖房切替信号を利用し、中央制御卓から遠隔操作できる回路としたので、コンピューターによるスケジュール運転も可能となった。

4. 外気冷房制御

客室系統の空調は、空調機送出温度（S A）で管理するため、従来の温度制御は別紙-1、第3図の様になる。

全熱交換機は、外気を排気との熱交換により7°C前後上昇させて室内に取入れる為、12月後半の平均的な1日の温度変化から、目標（設定）温度と外気との差による冷暖房負荷は次の様になる。

目標（設定）より外気が7°C低い場合	……………	冷暖房共必要無し
"	7°C以上低い場合	…………… 暖房が必要
"	高いか又は差が7°C以内の場合	… 冷房が必要

すなわち第3図の様に、ほぼ24時間常に冷房または暖房負荷がかかっている状態になりその内70%以上が冷房負荷である。

そこでホテル側担当者と検討した結果、別紙-2・第4図の様な温度管理を目標とすることになった。

この方法の特長は、空調機送出温度に幅をもたせ、外気取入による冷房効果と全熱交換機による温度補償で、冷暖房負荷を最小限に留めることができることである。

更に実施にあたり、空調機送出温度目標の最低温度（暖房開始）を下げ最高温度（冷房開始）を上げることにより、平成2年度1月は冷凍機を完全に停止し、2月は前年度比19.%、3月は60.%まで運転時間を短縮できた。

5. 外気冷房による省エネルギー効果

平成元年度と同2年度の1月から3月における冷凍機運転に要したエネルギー消費量を比較すると、別紙-3・第1図の様になる。

電力の削減率は、1月100%、2月80.%、3月39.%となり、ボイラー燃料の削減率は1月100%、2月74.%、3月49.%となる。

ホテル（客室）稼働率、宴会稼働率、外気状況等の諸条件の違いにより、減少量が全量、削減効果とはいえないが計算上前述の省エネ効果があったといえる。

この省エネルギー量を金額に換算したものを、別紙-4・第2表に示す。（計算に用いた単価は、電気・灯油共、平成2年度のものである）

この表より3ヶ月間の総削減額は、約340万円となり、その内ボイラー燃料（灯油）が約260万円で、全体の75%を占め、残りの25%が電気であった。

6.まとめ

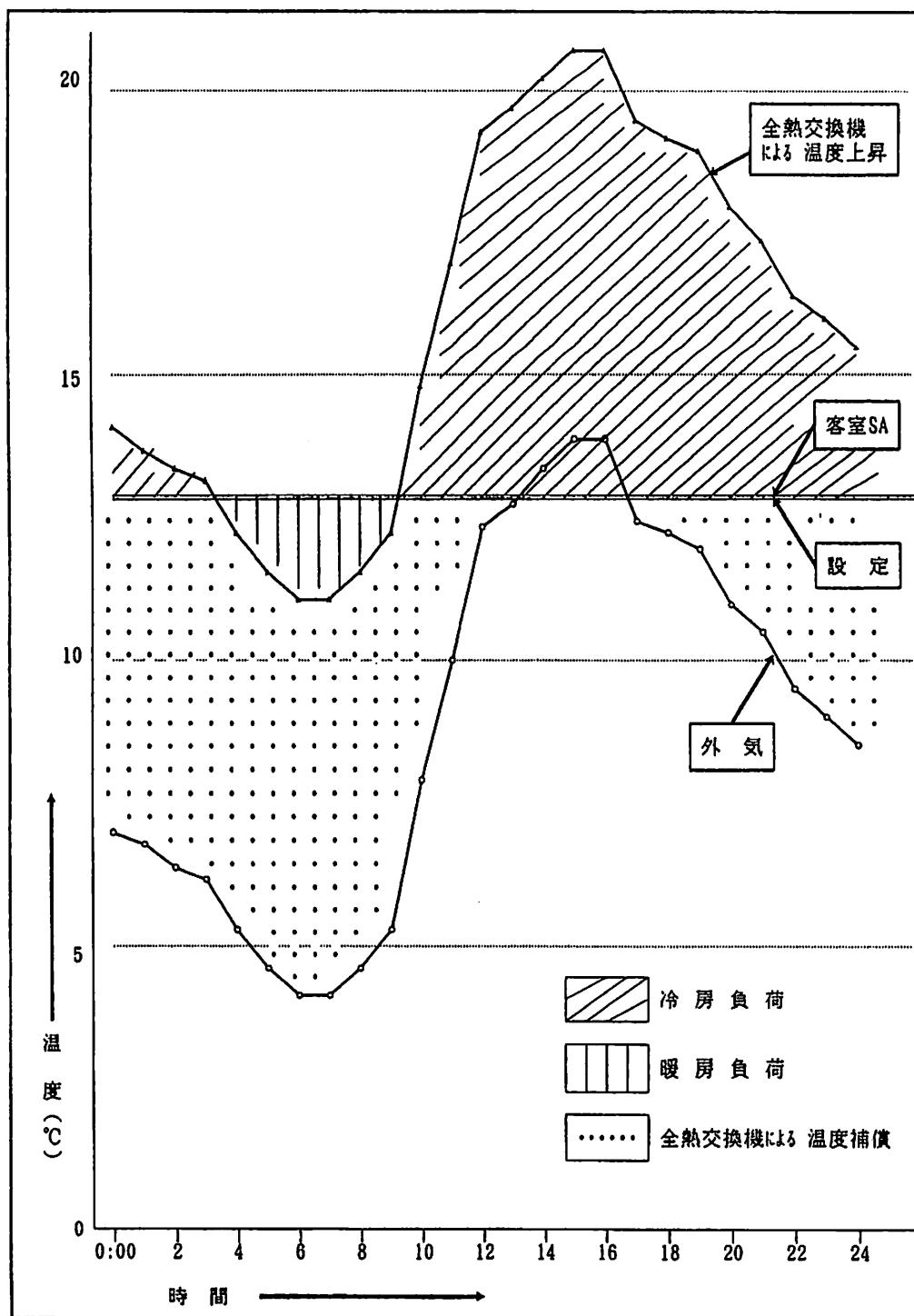
バイパスダクト導入に要した改造費は約350万円であり、省エネによる削減経費が約340万円であったことから、1シーズン（約3ヶ月）でほぼ償却を完了したことになる。更に、客室内の温度も要求されるレベルまで下げることができ、快適度も増したことから金銭以上のメリットがあったのではないかと思われる。

今回の調査を通じて、既設の設備は改造できないような錯覚に陥り、省エネの基本すら見失ないかけていたことにあらためて気付いた。

省エネは「今まで」ではなく「これから」がもっと大事な問題であることを忘れずに、今後もビルメンテナンスの可能性について勉強していきたい。

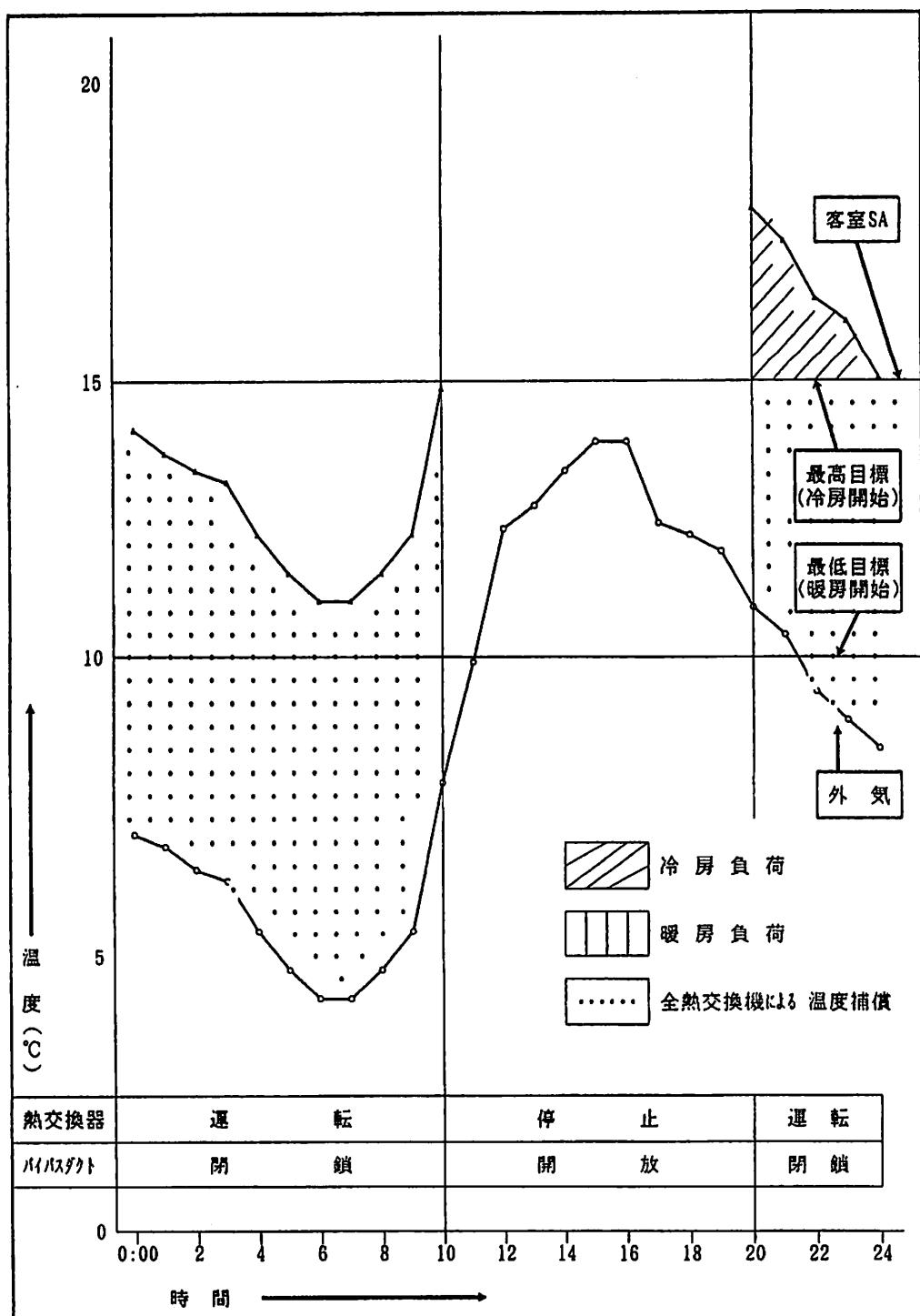
(別紙-1)

第3図 従来の温度制御



(別紙-2)

第4図 バイパスダクト取付後の温度制御



第1表 エネルギー消費量比較表

比較項目	平成元年(外気取入設備 無し)			平成2年(バイパスダクト設置・外気取入実施)		
	1月	2月	3月	1月	2月	3月
冷凍機本体 (7.6 2台)	217 ⁸ 1649. ² KWH	224 ⁸ 1702. ⁴ KWH	304 ⁸ 2310. ⁴ KWH	0 ⁸ 0 KWH	67 ⁸ 509. ² KWH	267 ⁸ 2029. ² KWH
冷却水ポンプ (18.5 2台)	690 ⁸ 12765. ⁰ KWH	670 ⁸ 12395. ⁰ KWH	744 ⁸ 13764. ⁰ KWH	0 ⁸ 0 KWH	125 ⁸ 2312. ⁵ KWH	375 ⁸ 6937. ⁵ KWH
冷却塔ファン (3.7 4台)	33 ⁸ 122. ¹ KWH	33 ⁸ 122. ¹ KWH	131 ⁸ 484. ⁷ KWH	0 ⁸ 0 KWH	35 ⁸ 129. ⁵ KWH	67 ⁸ 247. ⁹ KWH
冷水一次ポンプ (7.5 2台)	690 ⁸ 5175. ⁰ KWH	670 ⁸ 5025. ⁰ KWH	744 ⁸ 5580. ⁰ KWH	0 ⁸ 0 KWH	125 ⁸ 937. ⁵ KWH	375 ⁸ 2812. ⁵ KWH
冷水二次ポンプ (11.0 2台)	744 ⁸ 8184. ⁰ KWH	696 ⁸ 7656. ⁰ KWH	744 ⁸ 8184. ⁰ KWH	0 ⁸ 0 KWH	125 ⁸ 1375. ⁰ KWH	584 ⁸ 6424. ⁰ KWH
電力量合計(計算値)	2.65% 27895. ³ KWH	2.76% 26900. ⁵ KWH	2.81% 30323. ¹ KWH	100.0% 0 KWH	80.4%減 5263. ⁷ KWH	39.2%減 18451. ¹ KWH
ボイラー総蒸気発生量	1073024 t	1034077 t	1118951 t	1300182 t	1090026 t	1110535 t
冷凍機送り蒸気量	229000 t	262000 t	302000 t	0 t	67000 t	153700 t
蒸気負荷率 $\frac{\text{冷凍機送り蒸気量}}{\text{総蒸気発生量}} \times 100$	21.34 %	25.34 %	26.99 %	0 %	6.15 %	13.84 %
灯油換算量 灯油使用量×蒸気負荷率	35. ⁹ kL 21.3%	41. ⁸ kL 25.3%	47. ⁶¹ kL 27.0%	0 100 % 0 kL	10. ⁶ kL 74.6%	24. ³ kL 49.3%

(参考)

総電力使用量	1051172 Kwh	972977 Kwh	1078300 Kwh	(102.5%) 1077858 Kwh	(101.7%) 989239 Kwh	(101.4%) 1093826 Kwh
ボイラー用灯油使用量	168. ² kL	164. ⁹ kL	176. ⁴ kL	(121.1%) 205. ⁴ kL	(104.4%) 172. ² kL	(99.4%) 175. ⁴ kL
ホテル稼働率	最低36% 最高92% 平均 59. ³ %	最低46% 最高93% 平均 70. ³ %	最低42% 最高98% 平均 63. ⁵ %	最低36% 最高89% 平均 60. ⁶ %	最低50% 最高98% 平均 77. ⁸ %	最低48% 最高94% 平均 69. ⁷ %

第2表 省エネルギー利用 金額換算

月	項目	平成元年	平成2年	差引
1	電気	27805. ³ Kwh 380,492円	—	380,492円
	灯油	35. ⁰ kl 1,023,150円	—	1,023,150円
	計	1,403,642円	—	1,403,642円
2	電気	26900. ⁵ Kwh 366,923円	5263. ⁷ Kwh 71,797円	295,126円
	灯油	41. ⁸ kl 1,191,300円	10. ⁶ kl 302,100円	889,200円
	計	1,558,223円	373,897円	1,184,326円
3	電気	30323. ¹ Kwh 413,607円	18451. ¹ Kwh 251,673円	161,934円
	灯油	47. ⁸ kl 1,356,600円	24. ³ kl 692,550円	664,050円
	計	1,770,207円	944,223円	825,984円

※単位は電気13.⁶⁴ 円／Kwh、灯油28.⁵円／ℓとする。（平成2年度単価）

合計	電気	1,161,022円	323,470円	837,552円
	灯油	3,571,050円	994,650円	2,576,400円
	計	4,732,072円	1,318,120円	3,413,952円

◎バイパスダクトの導入費は3,500,000円

3. 空調機の風量制御

1. 送風動力の省エネルギーについて

ビルのエネルギー消費の内訳は、図1に示すように、空調搬送に29.2%を占めている。東京の某デパートにおける空調機の風量制御（VAV）の実施例とその運転実績について述べる。

図2に示されるような空調システムで消費される熱量の計算式は、第1式のように与えられる。

$$Q = 1.2 \times F \times (T_i - T_o) \dots \dots \dots \text{第1式}$$

Q : 热量 F : 送風量 1.2:空気の比熱 T_i :空調機入口温度 T_o :送風温度

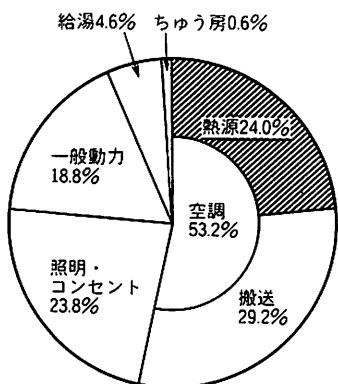


図1 ビル内のエネルギー消費内訳

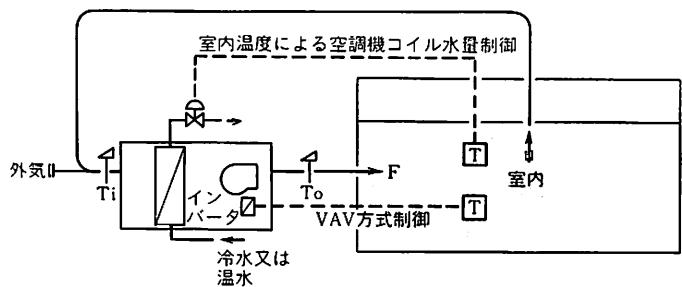


図2 空調機の室内温度制御

このうち、空調機入口温度は、室内温度と外気温度によって決まる。室内温度の制御方式としては、空調機のコイルに入る水量を制御する方法と送風量を変化させる方法がある。冷房時では、水量を制御する方法で、室内温度設定を高くすると熱量を少なくすることができる。しかし、これでは不快感が伴うので、快適さは失わないので省エネルギーを追求すると、送風量を変化させる方法が注目されることになる。この方法はVAV (Variable Air Volume) 方式と呼ばれる。

送風機は図3に示すような特性を持っているので、負荷熱量の少ないときにインバータを用いて送風量を絞ると、送風動力の削減が図れて、有効な省エネルギー手段となる。

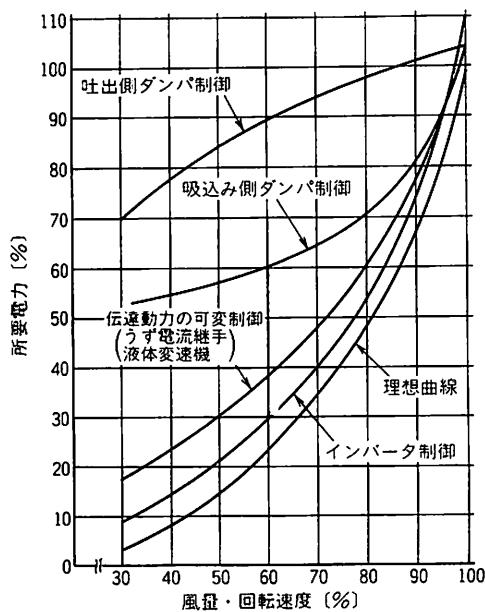


図3 風量・回転速度と所要動力

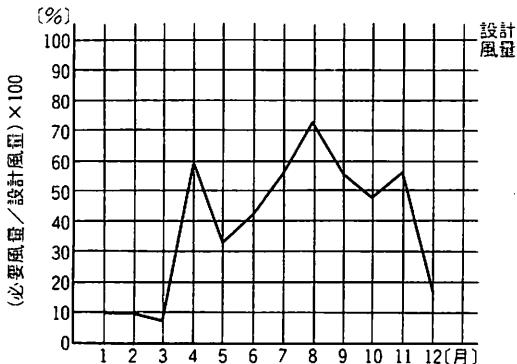


図4 月別風量比較表

2. 改善計画の考え方

ここでは、東京の某デパートにおいて実施されたVAV方式とその運転実績について報告する。

一般的にデパートの空調設備は、売場のレイアウト変更に対応できるように空調負荷熱量を大きめに想定する傾向があるので、実際の運転負荷率はかなり少いことが多い。このデパートの例では、送風動力の削減による省エネルギーを目的としていたので、日報データと設備設計のデータを比較して省エネルギー率の想定を行った。

運転日誌で捕らえているデータは、第1式における空調機入口温度と送風温度である。

$$K = (T_{i_2} - T_{o_2}) / (T_{i_1} - T_{o_1})$$

そして (T_{i_1} ・ T_{o_1} は設定値、 T_{i_2} ・ T_{o_2} は日報データ)、設計値に対する日報データの空調機入口の温度差比率を求めて第1式を考慮すると、このKの値はそのまま風量比率として使用することができる。したがって、必要風量 Q_2 は、次式で求めることができる。

$$Q_2 = K \cdot Q_1 \quad Q_1 : \text{設計風量}$$

この式から年間の必要風量を求めるとき、図4の月別平均風量比較表を得る。このデータでは、建物全体の平均値では、夏期でも70%の風量で足りることになり、冬季は10%で足りることになる。ただし、この値がそのまま適用できれば大変なエネルギー削減となるが、送風量は空調負荷が少なくとも50%程度は送らなければならないので、この比率で送風動力を下げるることはできない。

また、この運転データ分析から、このデパートでは、冬季においてもほとんど暖房負荷が存在していないことが判明した。この傾向は、東京以西の建物ではよく見られるものである。

3. 送風動力制御回路

空調機の制御システムフローを図5に示す。室内の空調負荷が多いときは、インバータで回転数を増加させて、少ないとときは減少させる。ただし、送風量制御には、前述の理由から、下限リミットを設けて50%以下にはしないものとする。

この制御方式は、温度条件のみに従ったローカル制御である。デパートという建物の特性を生かすために、表1に示すように中央監視盤に各曜日ごとに送風量の上限値を設定する制御を設けた。すなわち、デパートでは日曜日や祭日は空調負荷が多く、平日は少ないという一定の傾向があるので、積極的に省エネルギーを求める制御を加えたわけである。この制御は中央監視盤に組み込んであるので、売場の条件が変わったときや売り出し日の設定が簡単にでき、運用にマッチした制御を可能としている。

表1 各曜日ごとの送風量上限設定

曜日	日曜	月曜	火曜	水曜	木曜	金曜	土曜	特日
上限値	100%	60%	60%	60%	70%	70%	90%	100%

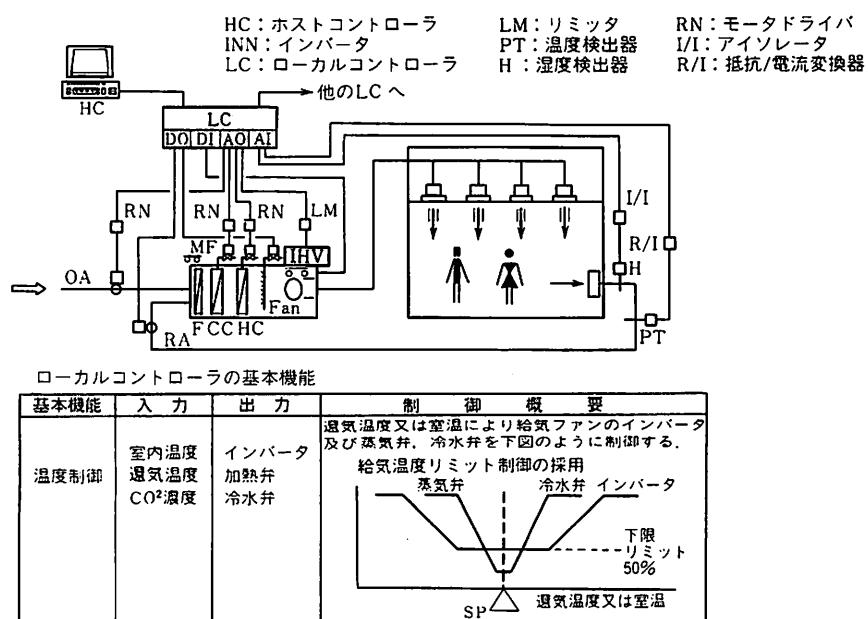


図5 空調機制御システムフロー

4. 省エネルギー実績

この改修の前後のエネルギー消費比較は、図6のようになる。空調に関する省エネルギー対策を行った時にしばしば問題になることは、同一条件下の比較が案外難しいことがある。すなわち、その年の温度条件の違いや建物自体の空調負荷の変動要素を、エネルギー比較を行う際にどのように吸収するかという問題である。また、計測ポイントも比較を行うのに都合よく入っていないことが多い。このデパートも売場の増設があって、図6の結果は当初の予測を下回るものであった。このデパートの施設部の運転日誌の分析では、電灯電力使用量と動力電力使用量は、28 対 72 になっているということであった。したがって、電灯電力使用量の増加分と同一比率だけ、本来は動力電力使用量も増加していたはずである。この分も 加えたものが、本来の改修前後比較となるわけで、この要素を加えたエネルギー比較は図6中の推定値となる。本例のように、省エネルギー実績を求めるためには、できるだけエネルギー消費に対する外的要因を除いてやる工夫が必要である。

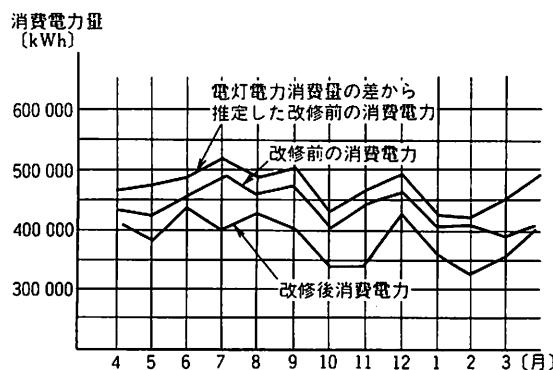
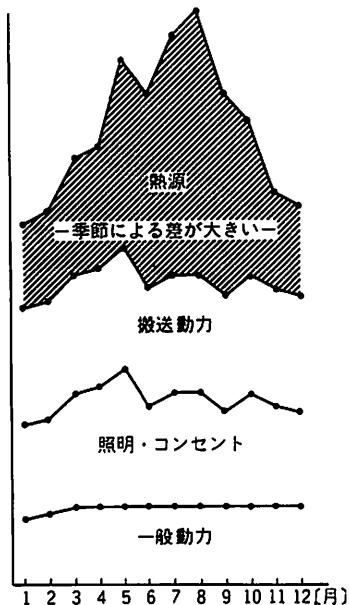


図6 改修前後の消費電力量の差

4. 冷凍機の運転台数制御

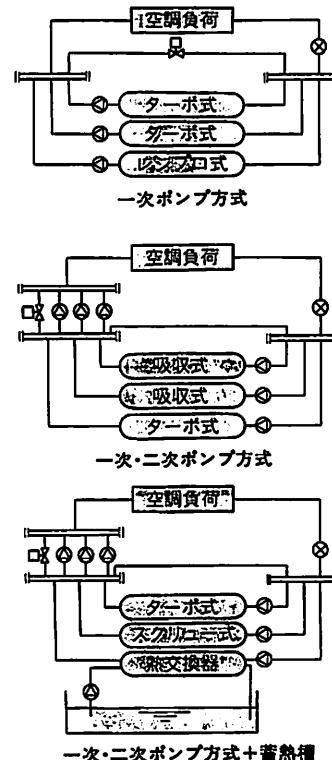
1. 冷水熱源設備の運転管理

図1に示したように熱源設備は、建物の消費エネルギーの約25%を占めるといわれている。さらに図1に示すように月別のデータに大小の幅があるということは、熱源設備の日常の運用方法によってはエネルギーの削減の可能性を多く持っている部分であると解釈することもできる。特に、冷水熱源設備は1台当たりのエネルギー容量が大きいので、毎日の運転管理においてもエネルギー消費に対する影響が大きい。ここでは、冷凍機運転台数制御についての考察と某倉庫において、ファジイ制御により冷凍機運転台数の制御を行った例を示した。



冷凍機は季節の違いによる気温の変動要素により、ビル内のエネルギー消費が最も大きく変わるものである。したがって、この運用が省エネルギーのポイントとなる。

図1 月ごとのエネルギー消費量内訳



熱源は、冷凍機の種類やシステム構成などのバリエーションが多く、そのおのがキャラクターを持っているので、単に負荷熱量計測による台数選択では対応しきれないことが多い。

図2 熱源設備のバリエーション

2. 冷水熱源設備のシステム構成

一口に冷水熱源設備といっても、冷凍機が複数に分割された場合は、図2に示すように、

異種の冷凍機の組み合わせや蓄積槽との併用など多様なシステムがある。さらにヒートポンプ方式や冷温水同時取り出しの吸収式冷凍機などが複雑に組み合わされ、おののの冷凍機の容量も大小さまざまなものが存在することが多い。

3. 一般的な冷凍機台数制御

これに対して、一般的な冷凍機の台数制御方式は図3に示すように、冷水の往還温度差に冷水流量を乗じた負荷熱量に冷凍機の定格熱量を当てはめて、冷凍機の運転台数を算出するものが多い。しかし、この方式には以下に示すような欠点がある。

① 瞬時量としての負荷熱量

変流量方式の基本的な概念は、図4に示すように、負荷熱量の変動に対して流量が比例的に変動して、往還温度はほぼ一定であるというように思われている。しかし、現実には図11に示すように、負荷変動に対して流動が反応するよりも、往還温度が対応するほうが早い。また、往温度と還温度には配管の保有水量の影響による位相差（往温度の変化の影響が還温度に出るのに要する時間差）が出る。配管中の流速は一般的に 2 m/sec 以下であり、冷凍機の運転台数が少ないときは、さらに流速は遅くなり、往還温度の位相差はさらに大きくなる。位相差は 5~15 分くらいであり、負荷熱量の大小により変わる。したがって、このような条件から算出された熱量は時系列的にみると図6のような値となり、冷凍機の台数制御の信号として扱うには好ましくない。ただし、1日単位や1時間単位の積算量を日報データとして用いる分には、このような負荷熱量の算出方法で問題ない。

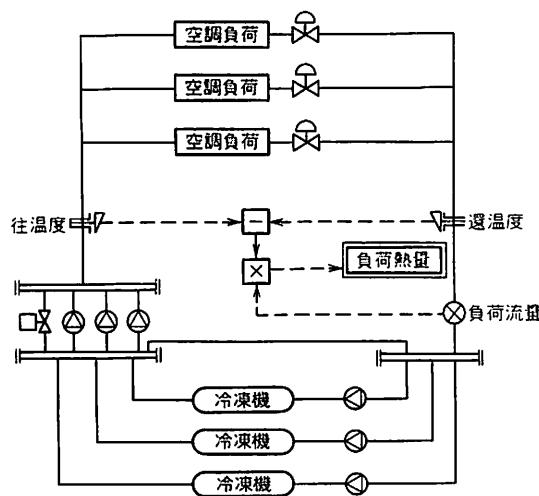
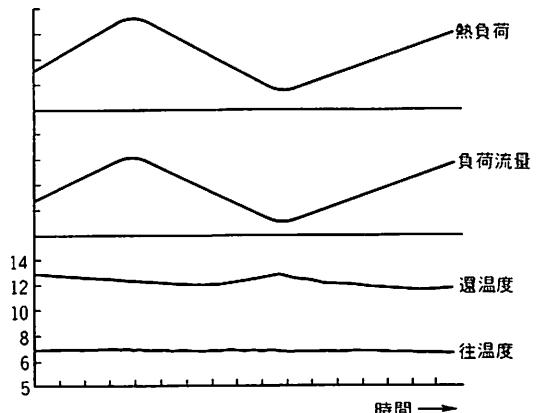


図3 热負荷の算出方法



熱負荷の変動に対応して負荷流量が変化する。往還の温度はほぼ一定。

図4 放流量方式の基本概念

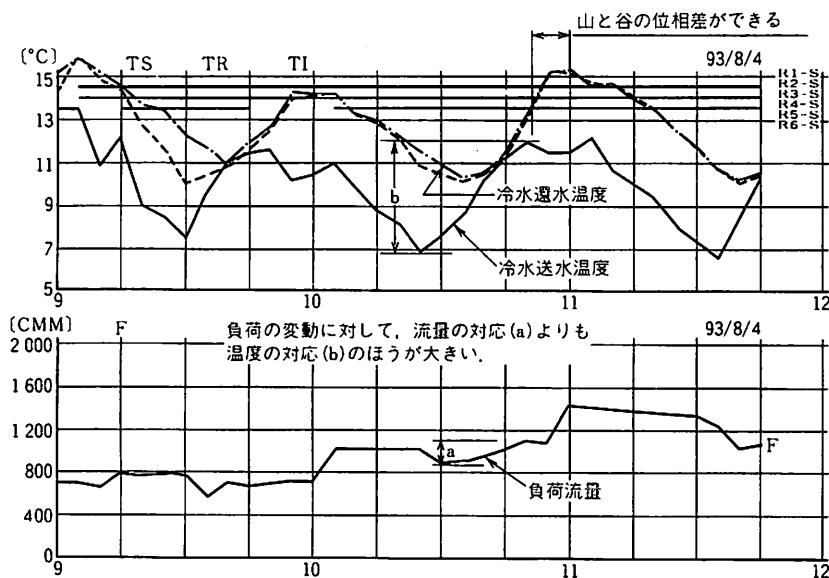


図 11 負荷変動に対する温度と流量の推移

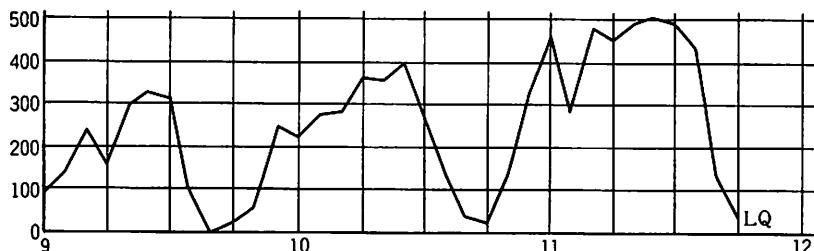


図 6 热量演算値（図 5 の温度差に流量を乗じたもの）

② 冷凍機の定格能力

電動機などの場合は、負荷条件が一定であれば出力もほぼ一定なものが得られる。これに対して冷凍機の場合は図7に示すように、冷却水温度・凝縮器の汚れ要素・空調負荷からの還温度が低いときなどの条件により能力変動が多い。特に冷却水温度は20°Cくらいまで下げて運転したほうが冷凍能力は上昇する。ところが、負荷熱量に対して冷凍機能力を当てはめるという方式では、最大能力を冷凍機の起動の指標として与えると外気温度が高く、冷却水温度が高いときには冷凍機が最大能力まで出し得ないために、次の冷凍機を起動することができず送水温度が上昇してしまうことになる。さらに、凝縮器の汚れにより冷凍機能力が低下したときのことを考えると、負荷熱量による制御を行った場合は、冷

凍機能力がもっとも低下した時に合わせて起動パラメータの設定をしなければならない。すなわち、2台の冷凍機で足りるところを3台の冷凍機を絞って運転することもあり得るわけである。

③ 冷凍機の種類

冷凍機には、ターボ式・吸収式・レシプロ式・スクリュー式などの多様の種類がある。一般的にターボ式・吸収式は出口温度制御に比例式を採用していることが多いが、レシプロ式やスクリュー式ではON/OFF式や2~4段程度の多段式容量制御が多い。これらの制御方式は図8に示すような制御パラメータとなっている。ここで問題とすべきことは、ON/OFFのハンチングを防ぐために、いったん容量制御状態に入ると、復帰するまでの温度差が大きすぎることである。図9のAの部分は、スクリュー式冷凍機が容量制御状態から解放されたときの状態を表している。このように、温度がかなり上昇した状況にならないと100%運転に戻らないという欠点がある。また、比例式を採用しているターボ式や吸収式でも、出口温度制御では比例帯の設定があまり大きくとれないため、台数制御の自動化の障害になっていることが多い。定格温度7°Cの冷凍機は常に7°Cの冷水を出していると思うことは間違いである。

また、ダブルバンドル型発熱回収ヒートポンプなどのように、熱回収時と冷専時では能力が異なる冷凍機もあり、制御の複雑化によりいっそうの要素を加えている。

冷凍機台数制御の自動化を考えるとき、冷凍機自身の制御ポイントは冷凍機の出口又は入口温度による容量制御であるのに対して、負荷熱量という演算された複合要素を絡めようとするところに無理がある。

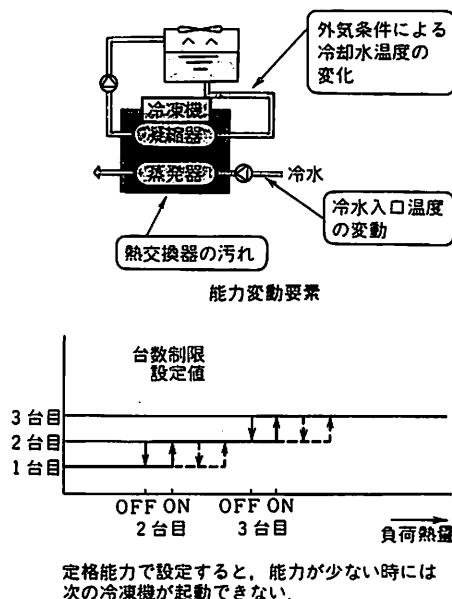


図7 冷凍機の能力変動の要素と設定値

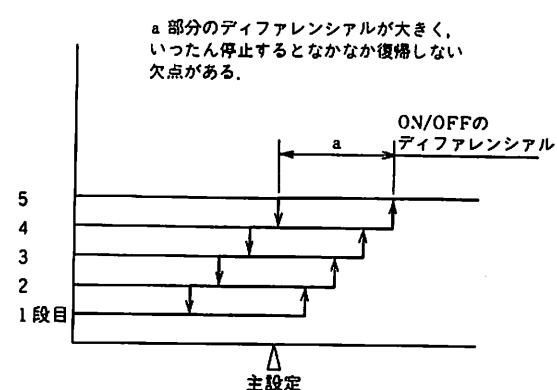


図8 多段式容量制御の制御方式

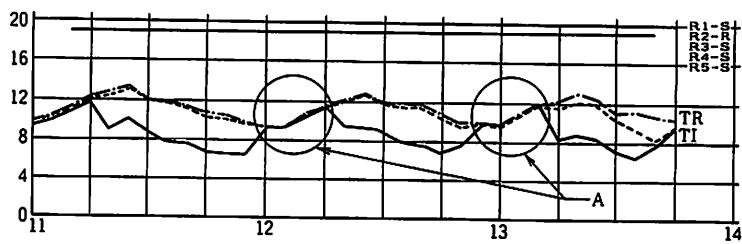


図9 多段式容量制御の制御状況

4. 冷凍機台数制御の好ましい方法

負荷熱量の変動は、冷凍機の出口温度・入口温度と負荷流量の変動に現れることは確かであるので、この要素をそのままロジックに組み立てればよい。図10に、このフローチャートを示す。一言で表現すれば、冷凍機の増段の必要のあるときは送水温度が上昇して負荷流量も増加するのであるから、送水温度（冷凍機出口温度）と負荷流量のAND条件で増段すればよい。また減段は、冷凍機入口温度の低下か負荷流量の減少で行われるので、入口温度と負荷流量のOR条件で減段すればよい。ここで注意しなければならないことは、図10に示すように空調負荷からの還温度と冷凍機入口温度は違うという点である。冷凍機の制御を行うのであるから、必要なものは冷凍機入口温度である。

しかし、自動制御の計測点からこのポイントが落ちていることが多い。ただし、このフローチャートの制御方式も一例であり、そのシステムごとに適切な制御方式を組み立てるべきである。

また現実の制御に当たっては、起動停止動作の後には一定時間制御の禁止時間を設けたりする必要があり、その熱源システムに応じて考慮すべき点がたくさんあるのが、冷凍機台数制御の特徴であるといえる。

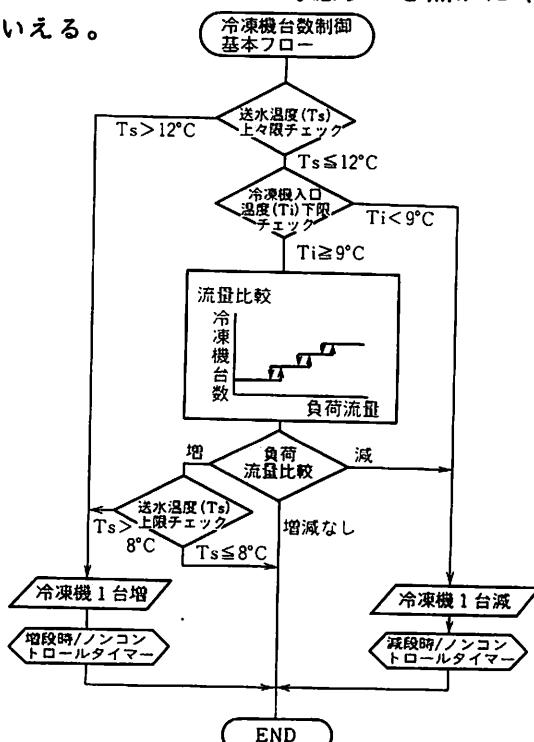


図10 冷凍機の出入口温度と負荷流量を制御情報とした台数制御フローチャート

5. ファジイ制御の冷凍機台数制御への応用

ファジイ制御は、あいまい制御と訳されたりしたので、“いいかげん”というイメージが定着してしまったが、まったくの“いいかげん”では制御は成り立たない。制御として成り立つためには、同一条件下では同じ結果を出すという再現性を持ったものでなければならない。ファジイの基礎は集合論であり、この理論そのものは再現性もあり注目すべき理論である。ファジイ制御を一言で表現すれば、“要求の割合の多いものから処理していく制御”といえる。この要求の条件に、計測点や制御値のほかに、人間の感情などの何かを加えても制御理論の中に受け入れてしまうので、“いいかげん”というイメージにつながってしまったものと思われる。しかし、条件を加えるのは人間であるのだから、もし結果が“いいかげん”であったのであれば、その条件を加えたほうが“いいかげん”なわけである。

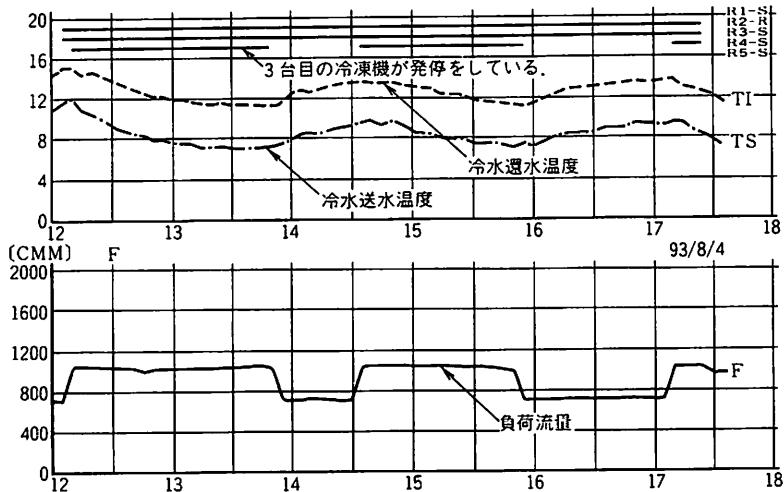


図11 ファジイ制御を適用した冷凍機台数制御

ここでは、倉庫というきわめて負荷変動要素の多い建物に、図10のフローチャートの考え方を基本にして、ファジイ制御を適用した例を紹介する。ファジイ制御の中身や手法についてはここでは省き、制御結果を示す。図11に温度と流量の推移を示す。この例では冷凍機が4台～2台の間で変動している。冷凍機そのものも容量制御により自動発停を行っている時間帯は、もうちょっと少ない台数での制御の可能性を残している。しかし12時～17時の温度の推移を見ると、空調負荷とのバランスがちょうどよく保たれていることを示している。さらに図12には、この時の熱量の推移を示すが、もしこの熱量で制御が実行されていたならば、前述した理由により台数制御は成り立っていないことをデータは物語っている。

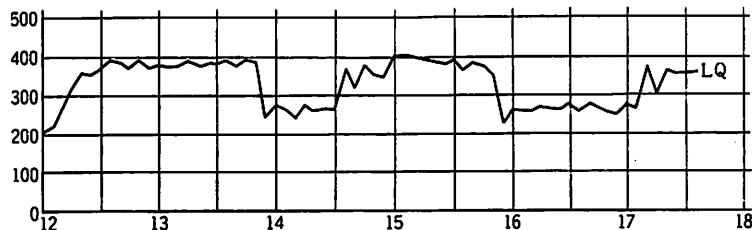


図12 ファジー制御時の熱量の推移

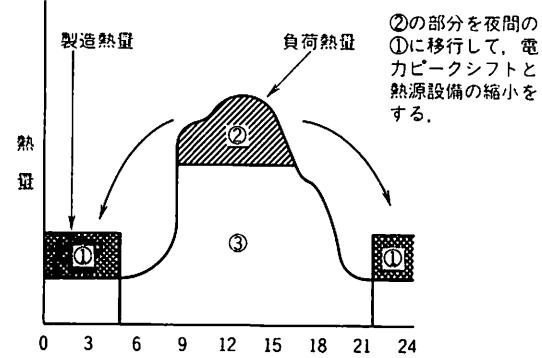


図13 蓄積槽によるピークシフト

6. 蓄積槽の制御

電力需要の増大に伴って、屋間の空調電力削減の目的による蓄熱槽の導入が増えている。蓄熱槽は図13に示すように、屋間使用する空調熱負荷を夜間に製造するわけであるから、その分は確実に屋間の消費電力量から削減されなければならない。夜間電力への移行がスムーズに行われれば、電力代金も安くあがることになる。しかし、一般的によく見られる蓄熱槽の制御方式は、単に蓄熱槽の温度条件を指標にして冷凍機の発停を行っている方が多い。旧来の制御方法では、この程度の制御を基本にして、あとは運転者の努力と技量に頼るのみであった。しかし、今日のように、ビル制御にもコンピュータが縦横に使える時代には、より人間の希望に添った制御システムを考えるべきである。

蓄熱槽の運用にあたっては、制御のパターンを夜間（22時～8時）の蓄熱運転と屋間（8時～22時）の放熱運転に分けて考える必要がある。

① 夜間蓄熱運転

図14は、蓄熱槽の1日当たりの残蓄熱量の推移を示す。制御のポイントは最小残蓄熱量をどのくらいに設定するかという点と、最大蓄熱量をどのくらいに設定するかという点である。

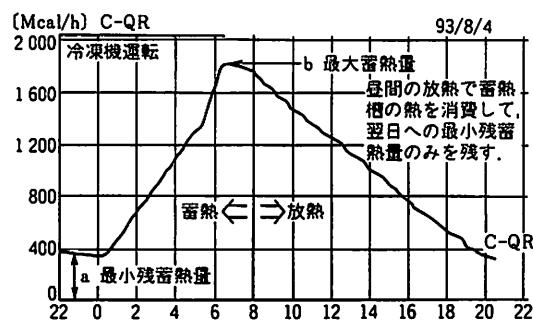


図14 蓄熱と放熱の1日の推移

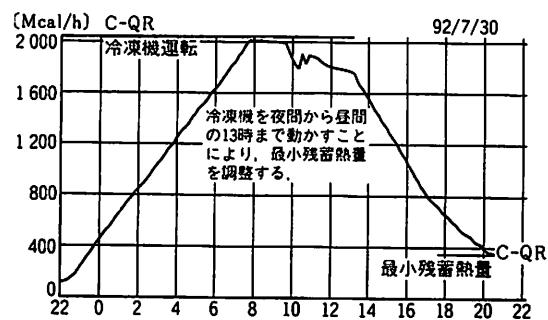


図15 屋間の追いかけ運転

(残蓄熱量の推移)

a. 最小残蓄熱量の設定

建物の用途により適切な値を設定する。電算センタ等のように非常時への対応が重要視される場合は、最小残蓄熱量は大きな値となる。また、熱源容量のピークカットや電力ビ

ークの回避を主に考える場合は残蓄熱量は最小限でよい。

b. 最大蓄熱量

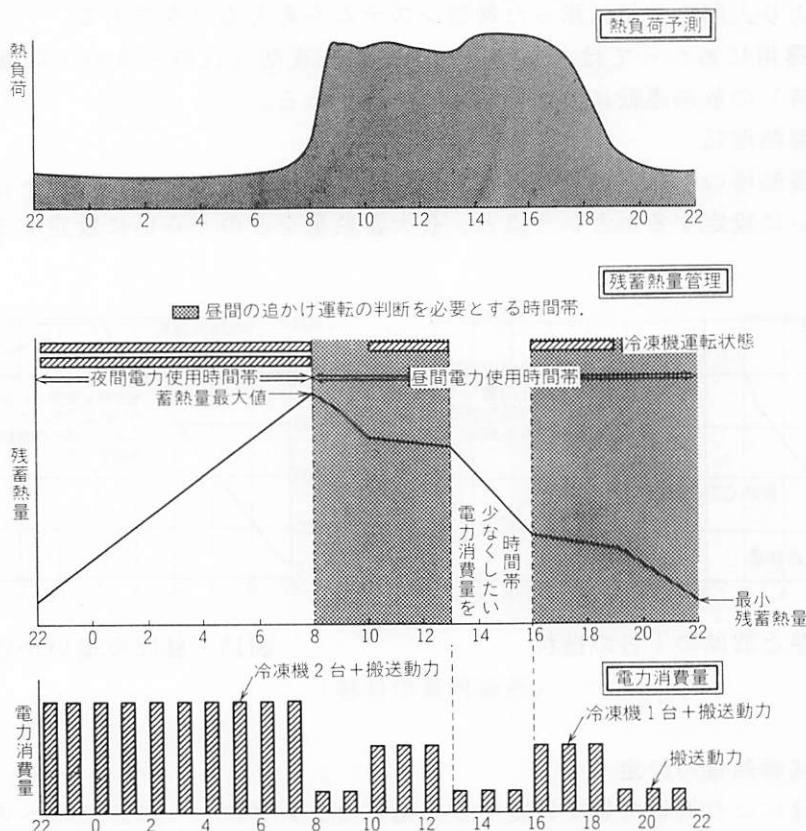
その日に使用する全負荷熱量の積算値が最大蓄熱量となる。したがって、この値を求めるためには、その日に使用する全負荷熱量の予測が必要になる。全負荷熱量が最大蓄熱量より大きい場合は、昼間の冷凍機追いかけ運転が要求される時であり、最大蓄熱量はその蓄熱量の定格値となる。一般に設計者や施行者は、蓄熱槽の定格値のみに興味を示すことが多い。しかし、実際の運用にあたつては、最大負荷になることは1年のうちわずかであり、大半は部分負荷への対応となる。常に満蓄熱になるまで冷凍機の運転をしている例をよくみかけるが、適切な蓄熱槽の運用とはいえない。

② 昼間放熱及び追いかけ運転

昼間の運転は図21に示すように、その日の終りの（22時）に残蓄熱量が最小値になるような運転を行えばよい。放熱時の冷凍機の運転は蓄熱量の減少勾配を調整する感覚で行う。昼間の運転で蓄熱量が増加するような運転は好ましくない。

このような運転をするためには、その日の空調負荷がどのように推移するかを見るために、負荷予測が必要になる。

図16は、以上の考えに基づいて、熱負荷予測・残蓄熱量・電力消費量をまとめたものである。このような運転が成立して、はじめて正しい蓄熱槽の運用が行われたことになる。



効率のよい蓄熱槽の運用は、夜間に溜めた熱をその日のうちに使いきる方法がよい。そのためには、熱負荷予測を行い、料金の安い夜間消費を少なくしたい13時～16時の冷凍機運転を適切に維持するという運用を計画的に行うべきである。

図16 正しい蓄熱槽の運用

5. 冷却水配管系の改良

1. 現状

現状設備は専門店冷蔵庫用、電気室用冷却塔ともそれぞれ独立した配管系統で構成されています。

運用形態も当然のごとくそれぞれ独立して下記のように運用しておりますが、専門店冷却水系統・電気室系統とも運転状態から判断しますと設計時点ほどの負荷がないため軽負荷運転を余儀なくされており、コスト面から無駄が発生しております。また双方の設備とも予備機がないため設備保守上からも次項で述べる問題点があります。

運用状態	専門店冷却水設備	1年365日	24時間連続運転
	電気室冷却水設備	夏季	6月～9月間 24時間連続運転

2. 問題点

イ) コスト面

夏季にはそれぞれの設備を単独運用しておりますが、ポンプ・冷却塔能力から判断した場合、1基の冷却塔設備で十分賄える負荷状態であり冷却水ポンプ動力、ブロー水、防錆剤等を無駄に消費しています。

ロ) 保守管理面

特に専門店冷却塔は前項の通り1年365日連続運転が必要であり、停止しづらいため、冷却塔の点検清掃、冷却水ポンプ点検等の保守作業に支障があります。

以下に問題点を列記致します。

①保守用に専門店冷却塔、電気室冷却塔とも商業棟冷温水発生機No.3号機とバイパス配管が設けられてありますが、冷却水量が双方の $1,300\text{ l/m}$ に対して $8,500\text{ l/m}$ と開きが大きく水量調節に難点があり、負荷側設備（専門店の冷蔵庫等）を高圧カットさせる恐れがあります。

現実に平成4年5月点検清掃時に1階ひさごの冷蔵庫が、高圧カットで停止し商品約300千円が腐敗したため、当社がその損害を賠償した経緯があります。勿論、保守員がその点を認識して作業するのは当然の責務ですが、人の注意には自ずと限界があり、再発する可能性を秘めております。

②前述の通り保守用バイパス配管は双方ともあります、現実問題として当該設備が故障しその復旧にかなりの日数を要する場合には、その期間バックアップできるシステムになっておりません。

従いまして、夏季に専門店冷却塔あるいは電気室冷却塔に故障が発生した場合、

※ 専門店の冷蔵庫が運転不能となり商品の腐敗等、営業に支障が発生します。

※ 夏季、電気室の冷房不能となり電気室温度の異常上昇により、特に弱電機器（サイリスタ等）に悪影響が及ぶ恐れがあります。

3. 対 策

電気室、専門店冷却塔設備の双方にバイパス配管（別添系統図参照）の新設し、また電気室却水ポンプを専門店冷却水ポンプと同性能のものと交換することにより、相互の設備に共通性を持たせ

※ 設備故障時でもバックアップ体制を構築し、商品腐敗等の二次被害を抑止

※ 安全確実な配管切り替え回路の設置により、切り替え操作に伴うトラブル防止

※ 双方の設備単独運転を中止し共用設備とすることによって、ランニングコストの低減

を計ります。

4. 検 討

イ) 現状負荷状態の検討

①専門店冷却水系統

当社運転日誌でみると盛夏の8月時点でも

冷却水ポンプ吸込圧力 - 15 cm A q

吐出圧力 5.5 kg/cm 全揚程 5.7 m

電動機入力 2.3 kW (力率0.8とする。)

冷却塔入口温度	31°C
出口温度	28.5°C
推定流量	730 l/m
	ポンプ能力比 56%
	(特性曲線により算出)
推定熱量	109,500 Kcal/h 冷却塔能力比 28%

のようになっております。

②電気室冷却塔設備

1) 変圧器発熱量

共益費計算書に基づき、111,800 Kcal/h とする。

これは昨年夏季の設備運転が、冷房能力 140,000 Kcal/h のパッケージエアコン 1 台で十分冷却できることからも裏付けされています。

2) 冷却水必要水量 Q_W は温度差を一般的に 5°C とるので

$$Q_W = \frac{\text{発熱料 Kcal/h} + \text{圧縮機動力 KWh} \times 860 \text{ Kcal/KWh}}{\text{比熱} \times \text{比重} \times \text{温度差}}$$

$$= \frac{111,800 \text{ Kcal/h} + 860 \text{ Kcal/KWh} \times 36 \text{ KW}}{1 \text{ Kcal/kg°C} \times 1 \text{ kg} / 1 \times 5^\circ\text{C} \times 60 \text{ min/h}}$$

$$\approx 476 \text{ l/min}$$

となります。

□) 共用設備とした場合の総合負荷

前述イ) の計算に基づき合計すると

①発熱量合計 Q_T は

$$Q_T = 109,500 \text{ Kcal/h} + 111,800 \text{ Kcal/h} + 860 \text{ Kcal/KWh} \times 36 \text{ KW}$$

$$= 252,260 \text{ Kcal/h}$$

②冷却水必要水量 Q_{WT} は

$$Q_{WT} = 730 \text{ l/min} + 476 \text{ l/min}$$

$$= 1,206 \text{ l/min}$$

となります。

ハ) 判定

口) の合計値を参考に現設備能力と対比すると

	現設備能力	計算値	判定
冷却能力 Kcal/h	390,000	252,260	可能
冷却水量 l/min	1,300	1,206	可能

上表の通り冷却能力、冷却水量ともクリアーします。

ニ) 省エネ計算

①電気料金の節減

共用設備とすることにより、現電気室冷却水ポンプの運転は必要ないため
節減できる電気料金 MW は

$$MW = 11 \text{ kW} \times 24 \text{ h/d} \times (30 \text{ d} \times 14.32 \text{ 円/KW} + 92 \text{ d} \times 15.64 \text{ 円/KW}) \\ \approx 493,200 \text{ 円/年} \quad (\text{実質は6から9月の4ヶ月が対象})$$

②水道料金の節減

冷却塔を使用しないことにより、水質管理のためのプローダウン水は不要となるのでこの費用を削減できます。

平成4年度実績使用水量 443m³

この内、40箇をプローダウンしたと推定すれば節減効果 QMS は

$$\begin{aligned} QMS &= 443 \text{ m}^3 \times 0.4 \times 485 \text{ 円/m}^3 \\ &\approx 86,000 \text{ 円/年} \end{aligned}$$

③ 防錆剤の節減

プロー水に対する防錆剤の投入は不要になるため、この費用 QMH が節減できます。

$$\begin{aligned} QMH &= 443 \text{ m}^3 \times 0.4 \times 0.0002 \times 1,760 \text{ 円/l} \times 1,000 \text{ l/m}^3 \\ &\approx 62,400 \text{ 円/年} \end{aligned}$$

以上の節減金額合計 MT は

$$MT = 493,200 \text{ 円/年} + 86,000 \text{ 円/年} + 62,400 \text{ 円/年}$$

$$= 641,600 \text{ 円/年}$$

となります。

ホ) 設備投資額

設備改善に要する概算投資額は

バイパス配管工事	材料費	3 5 0 , 0 0 0 円
	配管工事費	4 0 0 , 0 0 0 円
	電気工事	2 0 0 , 0 0 0 円
	ポンプ	5 0 0 , 0 0 0 円
	防震架台	2 0 0 , 0 0 0 円
	搬入据付費	3 0 0 , 0 0 0 円
	雑工事費	2 0 0 , 0 0 0 円
	諸経費	3 2 0 , 0 0 0 円
	合計	2 , 4 7 0 , 0 0 0 円

ト) 償却年数

償却年数をYとすると

$$Y = \frac{\text{設備投資額}}{\text{節減金額}} = \frac{2 , 4 7 0 , 0 0 0 \text{ 円}}{6 4 1 , 6 0 0 \text{ 円/年}}$$

≈ 3 . 8 5 年

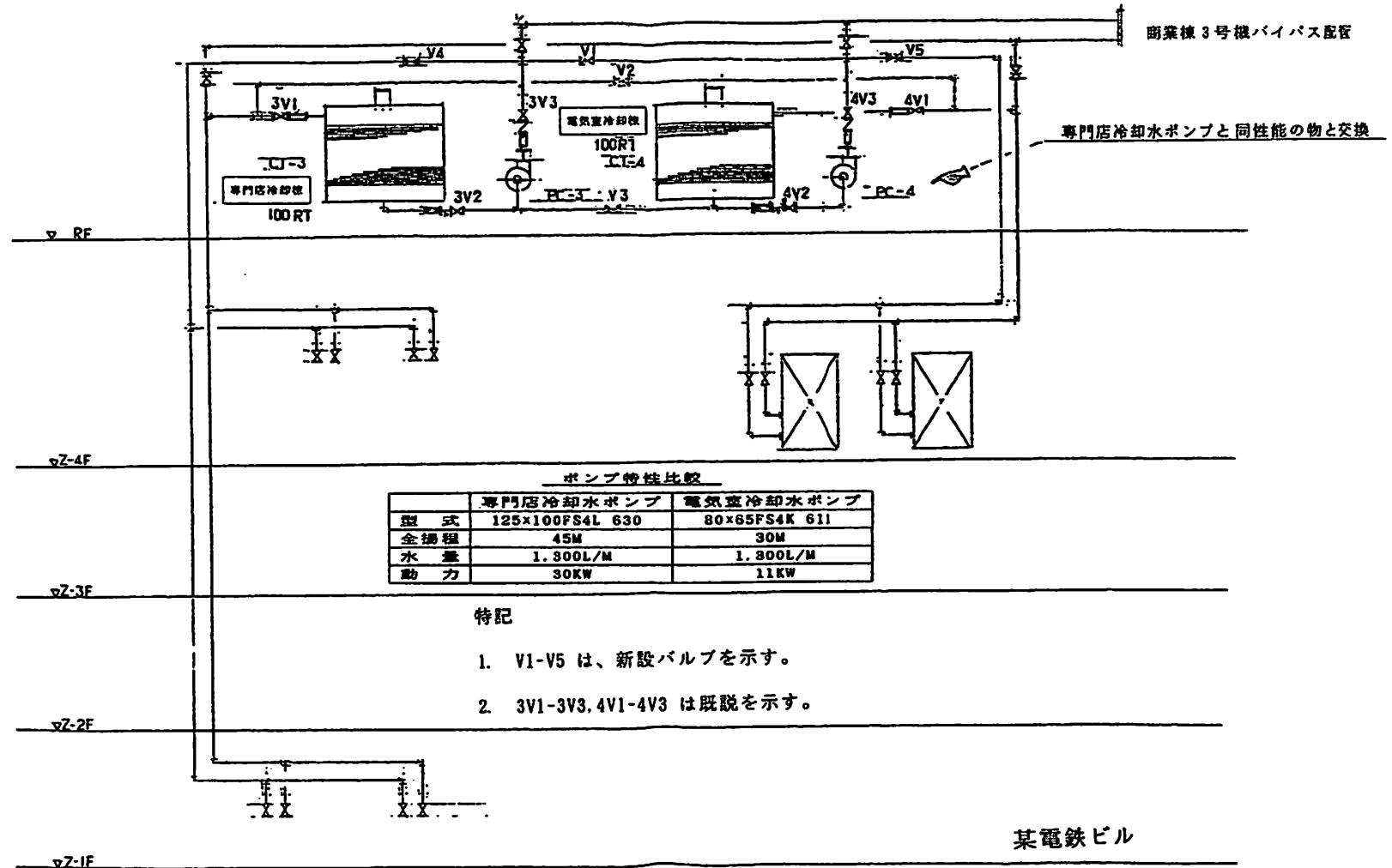
以上の検討結果を次表にとりまとめます。

項 目	導 入 効 果
電気料金節減	4 9 3 , 2 0 0 円/年
水道料金節減	8 6 , 0 0 0 円/年
防錆剤節減	6 2 , 4 0 0 円/年
節減コスト 合計	6 4 1 , 6 0 0 円/年
設備投資額	2 , 4 7 0 , 0 0 0 円/年
償却年数	3 . 8 5 年
付加価値	バックアップ体制構築
"	操作性向上(操作ミス防止)

5. 考 察

専門店系統および電気室系統冷却塔設備は、専門店営業面あるいはビル運営管理面において重要設備であると同時にその管理上の問題点は前段までに述べてまいりました。

検討の項でお分かりのように対応案を導入すれば、電気・水道料金の節減が計れると同時に設備のブレークダウン時においてもバックアップ体制の構築により、営業面あるいは運用面に何等支障を生ずることなく運転管理が可能となりますので導入についてご検討をお願い致します。



図名 電気室専門店冷蔵庫冷却水系統図

6. 照明設備の省エネルギー

1. 基本的な考え方

今日の照明設計では、もはや視対象の見え方の確保のみにとどまって、環境の快適性をなおざりにすることは許されない。

このために、次のような照明計画を行うことが必要である。

- ① 空間あるいは視対象ごとに使用する時刻別に、その使用目的を明確にして最適の照明計画を行うこと。したがって、必要な視対象以外に漫然とエネルギーを使わないこと。
- ② 下位の個別のシステムごとの省エネルギーを追求するあまりに、上位のシステムの目的を損なったり、総エネルギー効率を損なわないこと。
このためには、各場所と各部位ごとに定められた照明ガイドを正しく守ること。
例えば、基幹的照明のわずかな量の省エネルギーを実施して大きな災害や損傷を招いたり、わずかな照明エネルギーの節減が大きな空調負荷の増大を招くようなことは望ましくない。
- ③ 各視対象ごとに、その使用目的ごとに照明手法を合致させるために、なるべくフレキシブル（可偏的）な使用名システムを用いること、これは、後述のような照明制御システムなどがある。
- ④ 個々の照明機器には、前述のようなエネルギー効率のよいものを採用すること。

2. 省エネルギー照明のための機器の特徴

(1) インバータ方式点灯装置

(a) 蛍光灯用インバータ安定器

① 種類

最近の蛍光灯用インバータ安定器の種類を図1に示す。

② インバータ安定器の主な内容

a スタンダード型

(i) PSインバータ安定器（省電力）

高周波点灯することで、蛍光灯の発光効率がよくなることを活用して、同じ明るさで消費電力の低減を図ろうとするものである。

b 高機能型

(ii) PCインバータ安定器（調光可能・省電力）

高周波点灯で省電力を図るとともに、専用のライトコントロールとの組合せで用途にあった明るさ(100%~60%)が演出できる調光機能も合わせ持っているタイプである（ライトコントローラを使用しないときは 100%で固定）

(ii) PUインバータ安定器（高出力・調光可能）

高周波点灯で発光効率を高めるだけでなく、さらに特殊回路によってランプ自体を定格出力以上で点灯して、より明るくするタイプである。

このタイプには、Full 点灯時が定格点灯時の 130% のものと、150% のものの 2 タイプがある。

- PUインバータ 130 安定器 - Full : 130 %

- PUインバータ 150 安定器 - Full : 150 %

さらに、専用のライトコントローラとの組み合わせで用途に合った明るさ (Full ~50%) が演出できる調光機能も合わせ持っているタイプである（ライトコントローラを使用しないときは Full 固定）

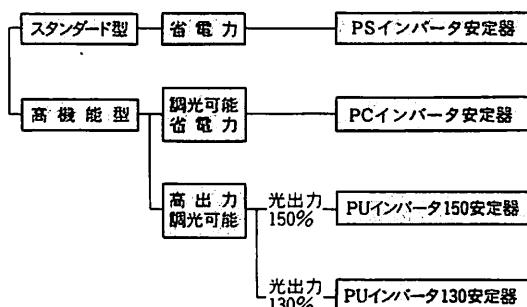


図1 荧光灯用インバータ安定器の種類

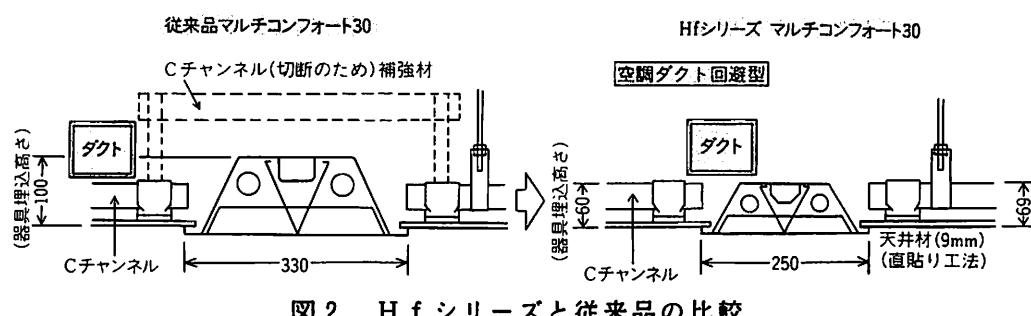
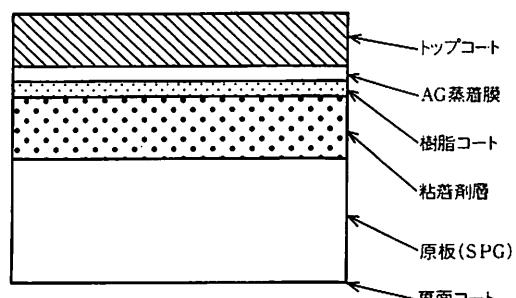


図2 Hfシリーズと従来品の比較

(b) HIDランプ用インバータ安定器

インバータ安定器の採用で、省エネ、軽量、配線容量のアップ、50/60Hz 共通化を実現した。軽量のインバータ安定器を灯具部に連結することにより、照明器具として約 2 分の 1 の軽量化及び結線の手間の削減を実現。施工の省力化・スピードアップが可能になった。

(2) Hf 蛍光灯（高周波専用ランプ）用照明器具

高効率インバータ照明器具Hfシリーズは、高周波専用ランプと専用インバータバラストの採用で、従来の直管蛍光灯器具の1.5倍の高光束が得られ、高効率、省エネ、省施工を実現した画期的な器具である。器具幅が従来品の約3分の2のスマートなフォルムで、天井面をスッキリと仕上げる。重量も従来品の2分の1から3分の2といへん軽量である。

また、超浅型設計なので、天井裏のCチャンネルや空調ダクトなどが回避でき、施工の省力化が図れる。（図2）

(3) 高反射率ルーバ（シリブライト）

単独でも使用できる基本灯具とルーバやパネルの組み合わせで、オフィスのさまざまな用途に対応できるフレキシブルな照明器具が普及している。

例えば、基本灯具がついた一般事務室のOA化にも、OAルーバを装着するだけで手軽にVDT作業に適した照明環境ができる。反射率が99%という新開発の銀蒸着反射材（シリブライト）と高効率配光制御技術の採用により、OAコンフォート機能は今まで器具効率84%の高効率を実現したルーバが普及し始めている。

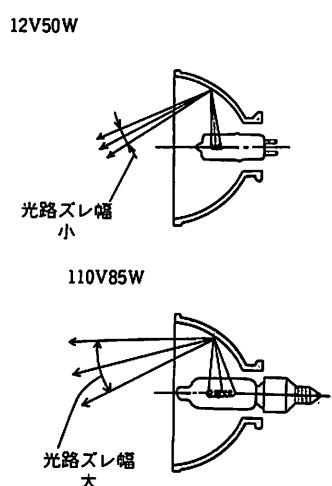


図4 光束の集中度の差

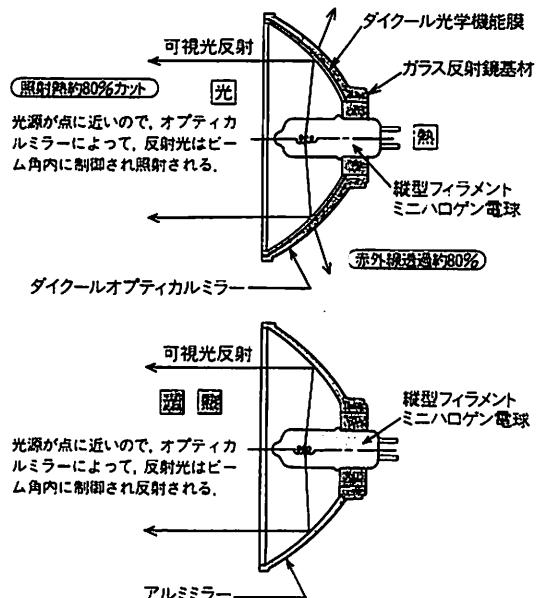


図5 ダイクールオプティカルミラー・アルミミラーの原理

(4) スカイビームPGランプ

スカイビームシングルエンドランプPG型は、紫外線カット・トリプルシースによる外管破損防止・高効率・高演色・点灯方向制限など優れた特徴を持つランプである。

スカイビームシングルエンドランプPG型の採用で、従来のスカイビームダブルエンドランプ下面ガラスパネル付器具に比べて、大幅な効率アップを実現した。例えば、同一空間を同程度の平均照度で照明した場合。器具台数が162台から108台に減らすことができ、約33%の省エネが図れる。

(5) ローボルトハロゲンスポットライト

縦型コイル・フィラメントを使用した12Vミニハロゲン電球の採用で、高照度で均斎度に優れた光を実現した。

小型で高照度な12Vミニハロゲン電球の採用で、例えば、12V75Wタイプは110V85Wタイプに比べて約2.3倍の高照度が得られる。

12Vミニハロゲン電球は、コイル・フィラメントを縦型にセットし、限りなく点に近づけることにより、光路のズレ幅を少なくし、優れた集光性を実現したランプである。

熱線を約80%カットするダイクールオプティカルミラーと、効率重視のアルミミラーの2タイプを用意している。どちらもマルチディンプル加工を施しているので、均斎度の高い照射面が得られる。

3. 照明制御システム

ビル管理の省人化や快適性の向上が進むなか、照明では集中管理・トータル制御に加え、きめ細かな点滅・調光演出制御が望まれる。レイアウト変更時にも電気配線をいっさい変更せず、記憶内容の簡単な変更で対応できる高機能の照明制御システムと、ローカルなエリアに適する調光演出システムを紹介する。

(1) 多重伝送2線式リモコンシステム（フル2線式リモコン）

時分割多重伝送方式により、1本（2心）の信号線で複数の照明器具を個別に、あるいはまとめて制御する方式を採用している。多種のコンポーネントを組み合わせることにより、以下の機能を満たすことができる。システム系統図を、図6に示す。

① 制御用信号線は2心の無極性送り配線である。したがって、結線が容易になり、誤結線が防げる。

② 複数回路の負荷機器を任意にグループ化し、制御・点滅ができる。

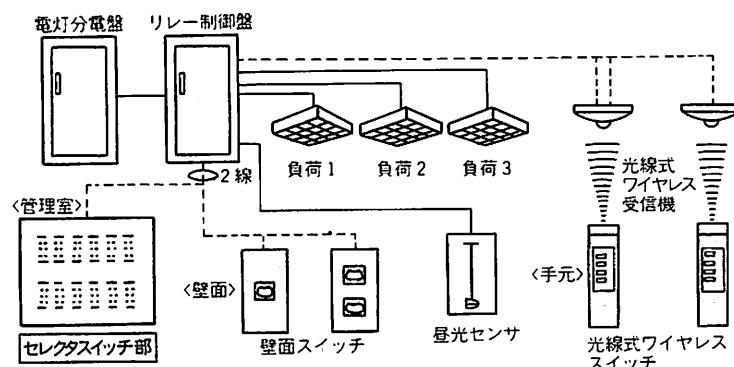


図6 多重伝送2線式リモコンのシステム系統図

- ③ スイッチ部分の簡単な変更操作で配線をやり直すことなく照明器具の制御範囲を変更できる。このため、レイアウト変更にも容易に対応できる。
- ④ 光線式ワイヤレススイッチでも操作できる。
- ⑤ 昼光センサを併用して昼光の入射料に応じて照明器具の点滅制御ができる。昼光センサの断面図を図7に示す。光電変換素子が水平に置かれているので、机上面照度との比例特性が優れている。^{(1) (2)}

(2) 多重伝送2線式照明制御監視システム (M E C S - L)

前記の機能に加えて、よりきめ細かな照明点滅制御や点滅状態を監視するには、目的に合った機能を組み合わせられる証明環境制御システムとする必要がある。

機能と特徴を以下に、システム系統図を図8に示す。

- ① すべての照明器具点滅状態及び周辺機器の動作状態を集中制御監視が可能である。
- ② ビル全体の各種負荷（照明・動力・空調など）を担当する中央監視盤（ホストコンピュータ）との通信が可能で、分散処理もできる。

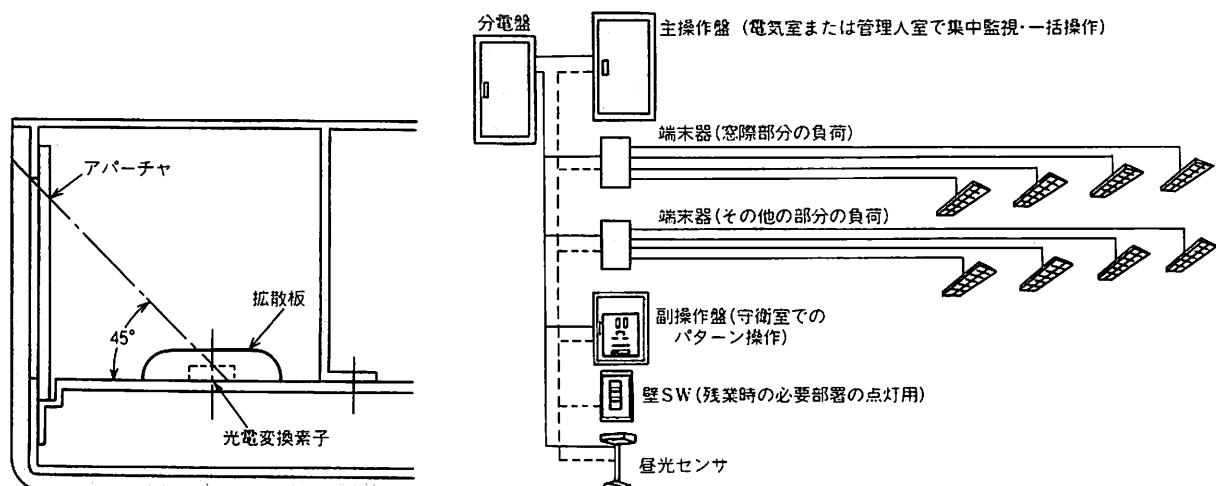


図7 昼光センサ断面図^{(1) (2)}

図8 多重伝送2線式照明制御監視システム系統図

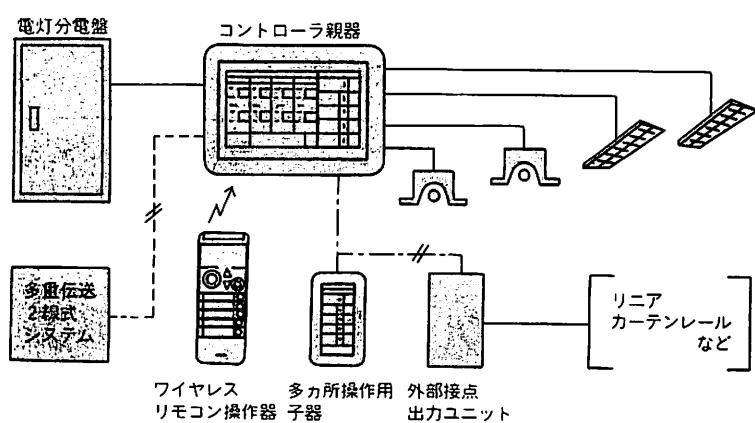


図9 演出照明システム（調光盤器タイプ）システム系統図

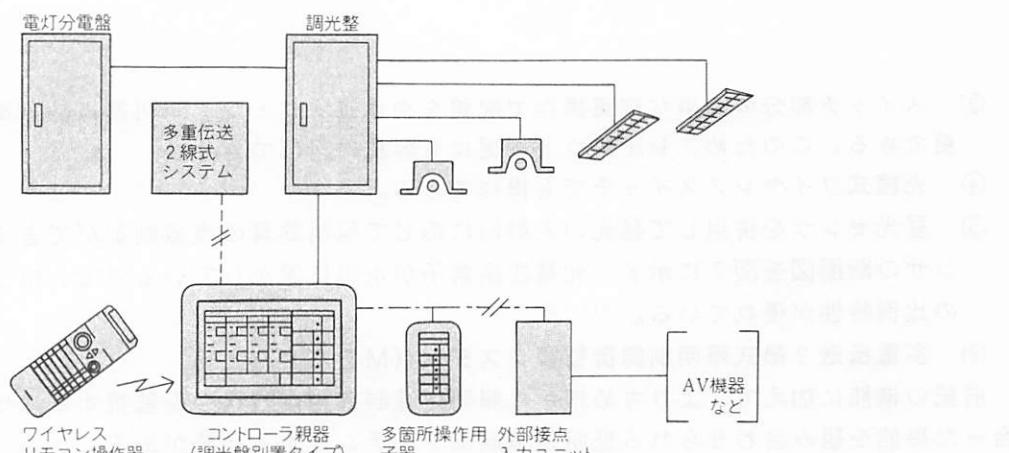


図10 演出照明システム（調光盤別タイプ）

- ③ 人体センサ連動制御により、トイレなどの照明点滅を自動化できる。
- ④ 短絡など信号異常が発生した場合は、フェールセーフにより照明が強制的に点灯する。

(3) 演出照明システム（アンビエントコントローラ）

多目的利用や雰囲気を重視する会議室などのエリアでは、討議や各種の機器を使用して説明を行うなどのシーンに応じて照明設備を使い分けたり、調光をすることが望ましい。このためには、前記のトータル制御に加え、調光演出の機能を有する演出照明システムが有効である。

小容量に適する調光器タイプのシステム系統図を図9に、高容量に適する調光盤別置タイプのシステム系統図を図10に示す。

- ① 目的に応じた明かり（シーン）を、その場で記憶、再生及び修正ができる。
- ② 4シーン分の記憶ができ、滑らかな明かりの変化に必要なクロスフェード機能がある。
- ③ 親器にあるすべての操作は、ワイヤレスリモコン操作器からも行える。
- ④ 前述のMECS-Lやフル2線システムから、点滅状態を監視・制御できる。
- ⑤ 外部機器（例：リニアカーテンレールなど）と照明シーンとを接点入力または出力ユニットを介して連動できる。
- ⑥ 照明負荷はインバータ器具やローボルト器具にも対応できる。

快適で利便性の高い空間を実現しながら、照明設備の運用・管理を含むトータルコストの低減を図るために、点滅・調光及び姿勢制御システムの導入が今後、不可欠なものとなる。

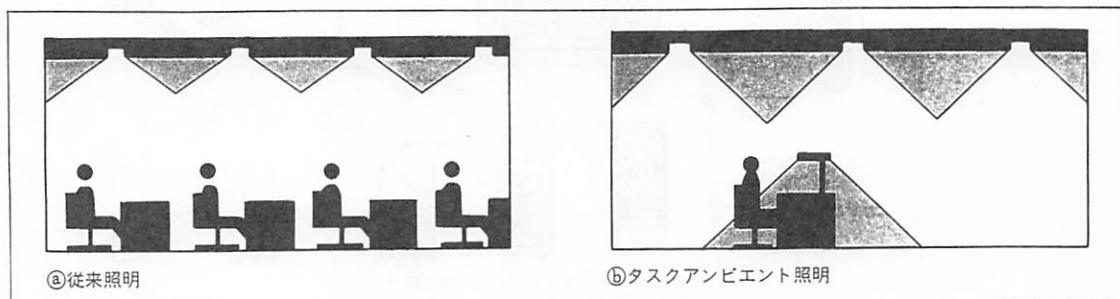


図11 従来照明とタスクアンビエント照明

4. 省エネルギーのための照明手法（タスクアンビエント照明）

視対象（タスク）と視環境（アンビエント）の両方を適切に照明するために、従来の照明ではタスクとアンビエントの照明機能を分けずに、天井に均一に配置した照明器具によって、タスクに必要な照度を確保し、それによって得られる光でアンビエントの照明を兼ねていた。それに対して、タスクとアンビエントをそれぞれ専用特性を有する照明設備を組み合わせ、照明する方式をタスクアンビエント照明という。（図11）

一般の作業においては、視環境（アンビエント）の状況を知ることよりも、視対象（タスク）を見ることのはうが大切であり、詳細な情報が多く必要である。したがって、タスクの照度を高くするのが望ましい。

従来のように、アンビエントとタスクの区別なしで全体を高い照度にするよりも、アンビエントとして必要な明るさを確保し、タスクの明るさとして不足する分を付加する方式にする。また、出張や会議出席などに伴い、不在者が多い場合、これにきめ細かく対応して消灯できる。

最近のオフィスでは、作業空間の準備室化のトレンドがあり、ローパーティションの採用が広まってきている。ローパーティションにより、タスクの照度は相当に遮光され、50～90%に低下する。⁽³⁾

これを天井の全般照明のみの増設で補うとすれば、1.3～2倍の設備となる。ローパーティションを使用する場合は、タスクライトで補えば、非常に効果的である。

7. 燃料電池のビルへの実用化

1. 燃料電池の原理

燃料電池（Fuel Cell）とは、水素と酸素とを電気科学的に反応させることにより電力を直接発生させる装置であり、その反応は水の電気分解とちょうど逆である。ここで、水素は通常は、天然ガスやメタノール、石油などの原燃料を改質して得る。

一枚のセルの基本的な構造図は図1(a)のように燃料極(アノード、負極)、空気極(カソード、正極)とこれらに挟まれた電解質(リン酸)からなる。

ここで、電解質とは燃料極において水素が水素イオンと電子に分解した後、水素イオンのみを空気極に導くためのものである。燃料電池は、使用する電解質によって、リン酸型のほかに、溶融炭酸塩型、固体電解質型、アルカリ型、固体高分子型などに分解することができ、それぞれ開発の度合いや得意とする適用分野が異なる。

ここでは、民生用として最も技術開発が進み、実用化目前にあるリン酸型燃料電池について紹介する。

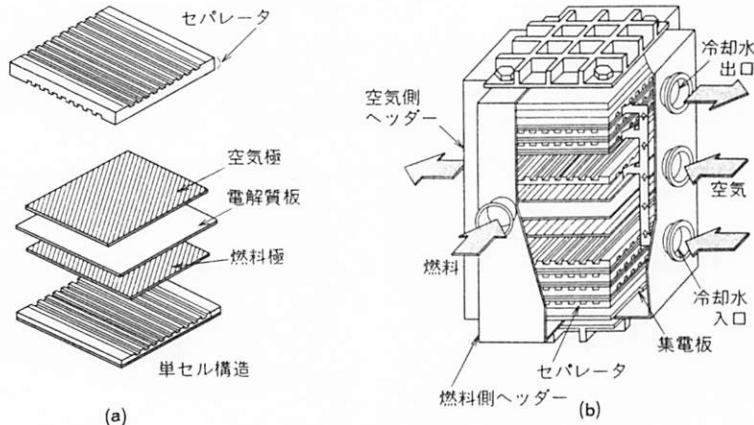


図1 セルとスタックの構成

2. 燃料電池の基本的な特性

①一枚のセルの電圧はセルの電流密度、運転条件(温度、圧力、ガス組成)等によって異なるが、実運転状態ではおおむね 0.7~0.8V程度である。

②運転温度は 200°C程度である。

- ③燃料及び空気を加圧すると電気化学反応が活発になるので、セル電圧は上がる。
- ④使用できる燃料はLNG、都市ガス（天然ガス）、メタノール、ナフサ等である。また、灯油、LPG等についても現在、脱硫と改質（水素リッチなガスを得る）技術を開発中であり、近い将来、実用される見通しである。
- ⑤一枚のセルの大きさは、2000～3600cm²級、8000～10000cm²級のものがよく使われている。一枚のセルにより得られる定格運転時の電力密度は、運転条件によって異なるが0.2W/cm²程度である。
- ⑥容量を大きくするには、多数のセル電池を積み上げて電気的に接続する。これをスタック（積層電池）という。
 - 適正なスタック容量は、プラントの容量、コンパクト性、輸送の容易さ、水素ガスと空気にガスの均等配分等の技術的制約などにより決まる。
 - 現在、最大で860kW級のスタックが開発されている。
- ⑦発電プラントの効率は、セル自体には効率に関するスケールメリットはないことからプラント容量にはあまり左右されない。
 - 加圧すると発電端効率は上昇するが、加圧するためには動力が必要となるので、このための補機動力の効率等も考慮して、全体のプラントを設計することになる。
 - 現在のところ、おおむね1000kW程度以下のプラントは常圧型で送電端発電効率（HHV）が36%程度、1000kW程度以上あるいは特に効率を重視するプラントは6～8ata程度の加圧型で、送電端発電効率が42%程度である。
 - 参考までに、溶融炭酸塩型や固体電解質型は、送電端発電効率が50～60%程度とさらに高いものと期待されている。
- ⑧部分負荷運転であっても効率が大きく低下することはない。
- ⑨総合熱効率は80%程度は可能である。2重効用式冷温水器の熱源になりうる170°C程度のスチームも回収可能である。
- ⑩NO_xの発生はきわめて少なく、SO_xは燃料電池の上流側で除去される等、きわめてクリーンである。

3. 燃料電池システムの構成

燃料電池をビル用設備等として導入する場合は、コーチェネレーション用が最も有望であり、次のようなサブシステムから構成される。

これらは、パッケージ内に格納されるのが通例である。

- ①燃料を水素リッチなガスに改質する燃料改質装置。
- ②燃料電池本体。
- ③直流電力を交流に交換し、商用系統と連系するためのインターフェース。
- ④排熱を回収し、利用する熱回収・利用装置。
- ⑤システム全体を監視し、制御する監視・制御装置などからなる。

⑥上記以外に、空気を供給するプロアなどの空気系、冷却用水や電池からの反応水を処理する水処理系などがある。

システム構成の一例を図2に示す。

4. 技術開発の現状

(1)ムーンライト計画

わが国の燃料電池に関する計画的・組織的な技術開発プロジェクトは、昭和56年度より、通商産業省工業技術院による大型省エネルギー技術研究開発（ムーンライト計画）の一環としてスタートした。このプロジェクトは、リン酸型、溶融炭酸塩型、固体電解質型、アルカリ型燃料電池をカバーするものである。後述の都市エネルギーセンター等、プロジェクトを含めた国による燃料電池技術開発プロジェクトのスケジュールを図3に示す。

当機構（NEDO）は、これらプロジェクトの中核的な推進母体である。

リン酸型燃料電池プロジェクトについては、次の二つのプロジェクトが成功裡に終了した。

① 1000 kWプロジェクト（昭和58年度から昭和63年度）

電気事業用としての加圧型1000 kW級のプラントに関し、分散配置用及び火力発電所代替用の2プラントを開発に運転試験を成功した。これは、国産としては初めての本格的な熱料電池発電プラントであり、その後のプラント技術のベースとなった。

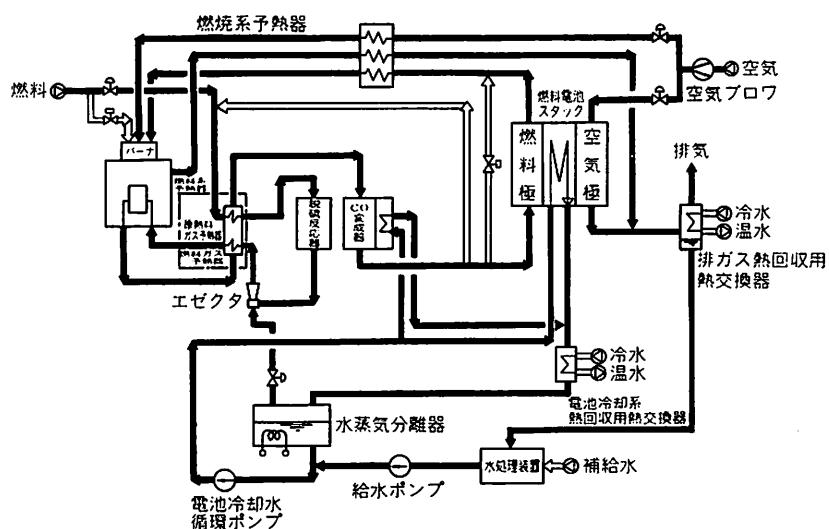


図2 燃料電池発電システムの構成例

表 1 200kW 用発電システムの概要と成果

項目	項目	項目
タイプ	業務用	離島用
燃料	都市ガス	メタノール
サイト	ホテルプラザ(大阪市)	渡嘉敷島(沖縄県)
発電出力(送電端)	200kW	202kW
発電効率(送電端)	26.0%(HHV)	39.7%(HHV)
総合効率	80.2%(HHV)	
排熱回収温度	高位 低位	発電専用
NO _x	4ppm(O ₂ =7%)	2ppm(O ₂ =7%)
冷起動時間	3時間	2時間45分
運転時間(注)	13,038時間	8,449時間

(注) 委託先による自主運転研究時間を含む



図 3 燃料電池国家プロジェクトの開発計画

② 200 kW級プロジェクト（昭和61年度から平成2年度）

オンサイト（需要地設置）用として常圧型 200 kW級プラントに関し、離島用及び業務用火力発電所代替用 2 プラントの開発と運転試験に成功した。これにより、燃料電池の実用化に向けて大きな前進がみられた。主な成果を表 1 に示す。

a. 離島用発電システム

本システムはメタノールを燃料とする 200 kW の発電専用システムである。

製作は富士電機、運転研究は沖縄電力と富士電機が担当。沖縄電力管内の波嘉敷発電所に設置して既存のディーゼル発電設備と並列運転し、平成 3 年 6 月まで、約 8500 時間の運転に成功した。発電効率は 39.7% (HHV) で、常圧型では世界最高を記録した。

b. 業務用発電システム

本システムは燃料に都市ガスを用いて、ホテル、レストラン、オフィスビルなどに電気と熱エネルギーを供給する、いわゆるコ・ジェネレーションシステムで、電気出力は 200 kW である。

製作は三菱電機、運転研究は関西電力、大阪ガスを配置して、平成 3 年 10 月まで、約 13000 時間の運転に成功した。排熱は 70°C の温水を回収して給湯するほか、世界で初めて 170°C の蒸気の回収に成功し、吸式冷温水器によりホテルの冷暖房用に使用した。部分負荷運転時を含めた発電効率、廃熱回収率を図 4 に示す。

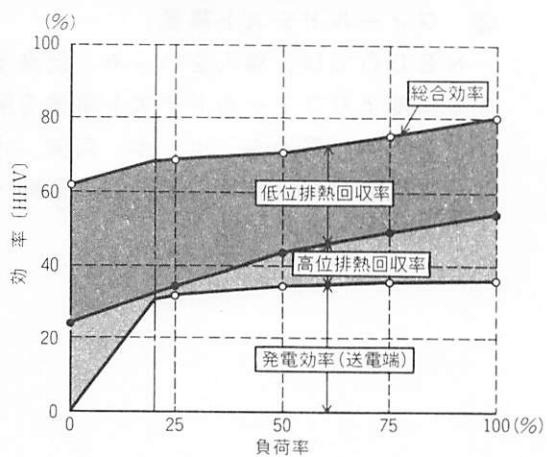


図 4 発電効率・排熱回収率の負荷特性

(2) 都市エネルギー等燃料電池技術開発プロジェクト

前記のムーンライト計画により、基本技術が確立されたのを受けて、電気事業用、業務用等として比較的容量の大きいリン酸型燃料電池の本格導入を図るため、高信頼度化、コンパクト化、低コスト化等の実用化技術を開発するプロジェクトを平成3年度より開始した。開発費については、その50%相当分を資源エネルギー庁公益事業部技術課、ガス保安課から受け、残りを電力9社、電力中央研究所、ガス3社で負担している。

このプロジェクトでは、平成8年度までに次の二つのプラントを開発し、運転研究する。

① 5MW級加圧型プラント

発電効率は送電端で42%（HHV）以上と世界最高をめざす。あわせて熱利用も可能とする。都市再開発地域等に設置する屋内タイプで、起動抵抗を使用しないで電力系統に併列できるなど、電気事業用として使いやすいプラントとする。

② 1MW級常圧型プラント

発電効率は送電端で36%（HHV）以上、かつ170°C以上の水蒸気を20%以上回収できること。都市中心部等のビル内に搬入、設置可能でできるだけコンパクトであること。このプラントが将来、本格的に商用化されたときには、図5のように、ビルの地下等に設置することも可能になると期待される。

(3) その他の国のプロジェクト

① 分散型新発電技術実用化実証研究

NEDOでは、燃料電池などの分散型新発電技術の系統連係問題を研究するために、太陽電池、風力発電機及び総容量900kW、14台の燃料電池を六甲アイランド新エネルギー試験場に設置し、各種の試験を実施中である。

燃料電池の系統連係については、これまで逆潮流を許さないなど一定の用件を満たせば一般高圧配電線に連係可能ではあった。しかしながら、電力業界では、平成4年度より逆潮流連係の要望がある場合には、安全性の確保、電力品質の維持などについて個別に検討し、許可することになった。また、このときの余剰電力も購入することとし、購入単価は廃棄物発電と同様とすることを発表した。

② フィールドテスト事業

NEDOでは、導入をいっそう促進するために、資源エネルギー庁が補助金を受け、平成4年度よりフィールドテスト事業を開始した。これにより、オンラインコージェネレーション用燃料電池を、ホテル、病院、オフィスビルなどできるだけ多種多様なエンドユーザーに設置して、実負荷条件での運転・保守データ収集・解析し、一般導入のためのマニュアル作りなどを行う。

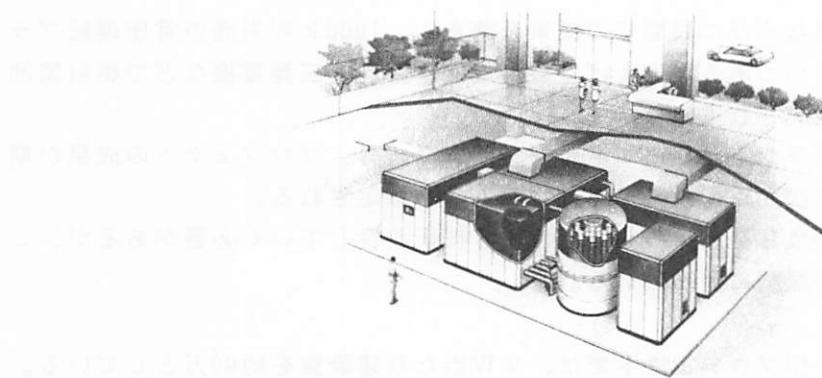


図5 大型オンサイト用プラントの概念図

(4) 民間における活動

民間においても、特にリン酸型燃料電池を中心としてその実用化を早期に図るために、電力会社、ガス会社、石油会社などにおいて、デモプラントの実証運転研究を実施中である。

- ① 東京電力では、五井火力発電所構内に11MWと世界最大の燃料電池発電プラントを設置し、平成3年4月に定格出力を達成した。定格出力時の発電効率は、発電端HHVで43.6%と設計値の42.9%を上回った。
- ② 電機事業では、1995年頃までに、前述の5MWを含め合計約20MW、約36台のデモストレーションを予定しており、すでにその一部は運転を開始している。
- ③ 東京ガス、大阪ガス、東邦ガス3社と富士電機は50kW、100kW級等の商用化計画を1989年より推進中であり、1991年度から50kW、1992年度から100kWの量産試作機を導入中、1993年頃にはプリコマーシャル機の発売を予定している。
また、上記ガス3社は、アメリカIFC社製の初期商用機であるPC-25(200kW)を21台導入し、実証運転を行う計画を進めており、ファーストロット機の導入が始まった。
- ④ 石油産業活性化センターでは、ナフサ・灯油等の石油製品を燃料とする燃料電池の研究開発を行っており、これまでに脱硫技術や改質技術などについて研究を進めてきたが、これらの成果をさらに発展させ、実用化のための技術開発プロジェクトを実施している。
- ⑤ その他、NTTでは、電気通信機器の電力供給のための燃料電池発電システムを検討しており、都市ガス、メタノール、LPGを同一の改質器で改質でき、互いに直ちに燃料切り換えが可能な技術等を開発中である。また、三洋電機が水素貯蔵合金を使用した燃料電池により、出力が250Wのポータブル電源を開発した。

5. 実用化の展望

国のプロジェクトの成果ならびに民間での成果を踏まえ、1000 kW未満の常圧運転プラントは商用化段階に移行しつつある。例えば、富士電機、東芝、三菱電機などで燃料電池の製造工場が着々と整備補充されている。

また、1000 kW以上のプラントは都市エネルギーセンター等、プロジェクトの成果が期待されており、その後、逐次商用化段階に移行するものと想定される。

導入のためには、次のような課題について引き続き技術改良していく必要があるが、これらはデモ運転と並行して順調に進んでいる。

① コストダウン

都市エネルギーセンター型プロジェクトでは、kW当たり建設費を約90万としている。1990年中頃までに50万円/kW、2000年までに25万円/kWをめざす。

コスト低減は、技術改良により50%、製造の自動化と量産効果により50%と想定している。

② コンパクト化

オンサイト用常圧型については、kW当たり0.08m²程度までコンパクト化されてきている。

加圧型では当面0.27m²を目標とするが、将来的には0.1m²を目標としたい。

③ 信頼性向上

これまでの最長運転時間実績は国産で13000時間（ムーンライト 200kW機）、世界記録は15000時間（UTC、40kW機）である。これらは資金的制約等によることもあり、実力的にはすでに電池寿命が2万時間以上あると考えている。目標は電池寿命で4万時間以上、その他の周辺機器は15年以上としている。

* * *

リン酸型燃料電池は、いよいよ商用化の段階にある。今後は、メーカー、ユーザーが一致協力しできるだけ多くデモ運転を行い、いっそうの信頼性向上、コンパクト化とコストダウンを図ることにより、競争力ある商品として育っていくことが重要である。

あとがき

世に省エネルギーが呼ばれて久しい。

これに関連する出版物も多数発表されており、諸兄もこれらについて既に研究されているものも多いと思う。当設備部会においても、ビルに関係のある文献 20 編程が紹介され、検討を続けて来たのであるが、省エネルギー研究チームではこれらの中からビルの現場で参考になる普遍的なものを選びここに数編をとりまとめたものである。なお、参考として次期コージュネシステムとして注目されている磷酸型燃料電池の紹介を末尾につけ加えることとした。

我々ビルの設備メンテナンス技術者としては、まず第一に設備の日常運転においてどのように省エネの効果を挙げるかが求められるところで、各ビルの現場においてはそれぞれ研究努力して実践しておられることと思う。

一口に省エネと言ってもビルの設備や営業の実態が異なり又、社会情勢とともに変化してゆくのも少くない。我々はこれに対して常に新しい発想によって技術力を發揮することが極めて大切なことと思う。このような意味から本小冊子が省エネを考える上でのヒントになれば幸いである。

引用文献

1. 某新聞社における省エネルギー設備
設備と管理 1993年/1月号
クボタ シゲル 竹中工務店
設計部・設備課長
2. 外気冷房の導入
ミズエ クニマサ 近鉄ビルサービス(株)
3. 空調機の風量制御する方法
設備と管理 1994年/1月号
タカハシ タケオ 高砂熱学工業
計装システム部・T I S課・課長
4. 冷凍機の運転台数制御する方法
設備と管理 1994年/1月号
タカハシ タケオ 高砂熱学工業
計装システム部・T I S課・課長
5. 冷却水配管系の改良
マツモト ムネオ 阪神エンジニアリング(株)
大阪事業部・部長
6. 照明設備の省エネルギー
ナカムラ ハジム 松下電工
中央エンジニアリングセンター・主査技師
7. 燃料電池のビルへの実用化
フクトメ アツシ 新エネルギー・産業技術総合開発機構
燃料、貯蔵記述開発室
燃料電池プロジェクトチームリーダー

最後に、文献の引用・転載について、快諾を頂いた版権者・執筆者に心から謝礼を申し上げるものである。

本書は、下記の設備保全部会委員により作成されました。

部会長	戸石 泰司
副部会長	安江 貞夫
担当委員（リーダー）	岡 新一郎
担当委員	中村 功
担当委員	寺内 民一

~~~  
社団法人 大阪ビルメンテナンス協会  
531 大阪市北区中津1丁目2番19号  
(新清風ビル 5F)  
TEL(06)372-9120 FAX(06)372-9145