

## 4-4. 電池電力貯蔵

### 4-4-1. 電池電力貯蔵システムと基本構成

電池電力貯蔵システムは、蓄電池に電力を一時貯蔵し、必要な時にこれから放電し電力を供給する設備である。これを利用する主な目的として、次の2通りがある。

- (1) 日間負荷の平準化
- (2) 在来設備の代替瞬動予備力

オマーン国では、電源として大半が発電コストの安いガスタービン 1 種類でピーク時とオフピーク時に電気料金に差が生じない。このため、(1) の負荷平準化への使用は妙味がない。一方、ガスタービンは最大容量 1 台分の予備力を持たせて運転しているため、運転負荷率の低さからその発電効率も低いのが現状である。そこで、この予備力を電池電力貯蔵システムで代用し、不要なガスタービンは停止し、運転中のガスタービンの出力を増加して発電効率の向上が可能である。この他、オマーンでは電力システムの末端部で重負荷時に電圧が大きく低下し、電力供給に問題が生じている。このシステムはこの電圧対策としても有効である。

このような観点から、この章で電池電力貯蔵システムを取り上げて検討する。

電池は直流で充・放電を行うが、電力貯蔵システムとして電力システムと連系する場合には、交流に変換して使用される。この基本構成を図 4-4-1 に示す。この連系には双方向の電力変換装置を用い、交流電力を直流に変換して電池を充電し、電池に貯えられた直流電力は交流に変換して電力システムに放電する。このように構成が比較的簡単で、電池の種類によっては電池のモジュールや電力変換装置毎にキュービクル化でき、製作工場からの運搬がし易く、キュービクルを屋外型にして建屋を省略することもできるメリットもある。

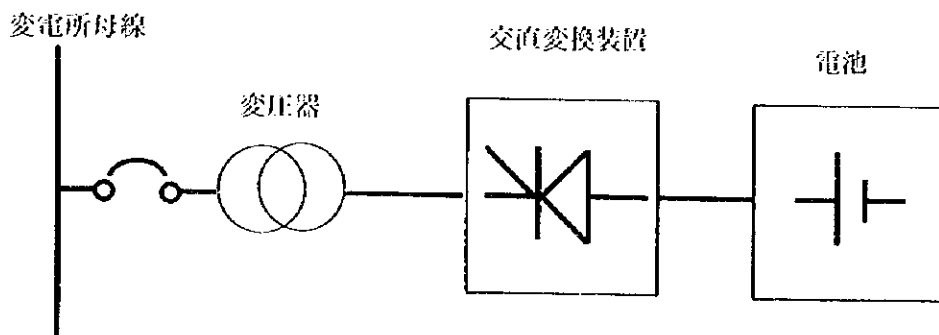


図 4-4-1 システム構成の概略

#### 4-4-2. 電池電力貯蔵システム実施例

まず、現在までに運転あるいは研究に取り上げられた貯蔵システムの主な例について表 4-4-1 にとりまとめる。この内、プエルトリコのシステムは 2,300MW 規模の系統に約 400MW クラスの発電設備を建設し、これが事故停止した時を想定した瞬動予備力としての機能を持たせている。これにより、在来のプラントの低負荷運転を回避して運転効率を上げ燃料費を節減している。これは、今回のオマーン国の系統にも当てはまり、ガスタービンの運転効率向上のために導入が可能であることが予想される。

このほか、瞬動予備力用のシステムは kW 当たりの建設単価が安いと考えられる。これは、放電時間は短い、即ち電池の量 (kWh) は小さいが、その出力 (kW) は一定の大きさを確保するという設計が取り入れられているものと考えられる。なお、表中のシステムのうち実用的に運転されているものはチノ変電所、プエルトリコ電力のシステムである。ベルリン電力のシステムは実用的な運転実績はあるが、電池に寿命が来たため 1992 年に商用運転を停止しているものである。新しい電池による試験的な運用は行われている。

日本の例は全て研究用か、実証運転試験レベル (東京電力、日本碍子) にある。従って、価格的には高価すぎて、現状では参考に来ないよう考えられる。

表 4-4-1 電池電力貯蔵システムの実施例

名称	規模	電池種類	スケジュール	今回の対象
南シバに7電力 チノ変電所	10MW/40MWh 負荷平準化	鉛電池	1988 試験開始 1991 商業運転	1次変電所用
BEWAG ベルリン電力	17MW/14.4MWh 周波数調整・瞬動予備力	鉛電池	1987 運転開始 1992 廃止	
プーリツ電力	20MW/14.1MWh 周波数調整・瞬動予備力	鉛電池	1992 建設開始 1995 運転終了	
NEDO	1MW/4MWh	鉛電池	1986 運転開始 1993 運転終了	参考用
日本（某電力会社） 小規模研究用	30kW	鉛電池	研究中	参考用
東京電力 日本碍子	6MW(2MW, 3) 48MWh	ナトリウム・硫黄電池	1997 運転開始	配電用変電所用

名称	建設費 (US\$/kW)	設備敷地面積 (m <sup>2</sup> )	その他
南シバに7電力 チノ変電所		4645	DC:2000V
BEWAG ベルリン電力	833 (23MDM) ・電池関係：30% ・電力変換器：30% ・コンピュータ：10% ・建物他：30%		接続：30kV DC:1200V AC:昇圧変圧器 (1.4/30kV)
プーリツ電力	1000 (20M\$) ・電池関係：25% ・電力変換器：28% ・コンピュータ：7% ・建物他：40%	合計：1368 電池：864 (2段) 電力変換機：216 その他：288	接続：13.2kV DC:2000V AC:昇圧変圧器 電池寿命：10年 プラント寿命：30年
NEDO	9333 ・電池関係：58% ・電力変換器：33% ・建物：9%	合計：797 電池：240	接続：6.6kV DC:1095V
日本（某電力会社） 小規模研究用	2333 ・電池：70%(4h)		
東京電力 日本碍子	12500	600 (20m×30m)	接続：6.6kV DC:922V AC:440V/6.6kV 電池寿命：15年

(120Y/US\$,70Y/DM,0.381RO/US\$)

#### 4-4-3. コスト計算と経済性評価

##### (1)オマーン国における電池電力貯蔵システムの設置メリットの概略評価

###### ①予備力の代替

ガスタービンの予備力を代替し、ガスタービンの運転中負荷率を向上させ、発電効率向上によって燃料費を節減する。

サプライサイドで開発した電力供給の最適化プログラムを用いた計算により、次の結果が得られた。Muscat 系統を計算対象としている。

電 力 供 給	燃 料 費
(1)最適化発電、ガスタービン予備力 94MW a.1997.8.1 b.1997.5.1	103,598 RO/d 68,039 RO/d
(2)最適化発電、ガスタービン予備力 0, 電池予備力 100MW a.1997.8.1 b.1997.5.1	98,540 RO/d 64,706 RO/d
燃料の節減[(1)-(2)] a.1997.8.1 b.1997.5.1 平均	5,058 RO/d 3,333 RO/d 4,196 RO/d → 1.5 M RO/y

即ち、電力供給の最適化を実施する場合、電池でガスタービンの予備力を代替することにより、年間およそ 1.5 M RO の燃料節減が見込まれる。この運転中負荷率向上の概念を図 4-4-2 に示す。

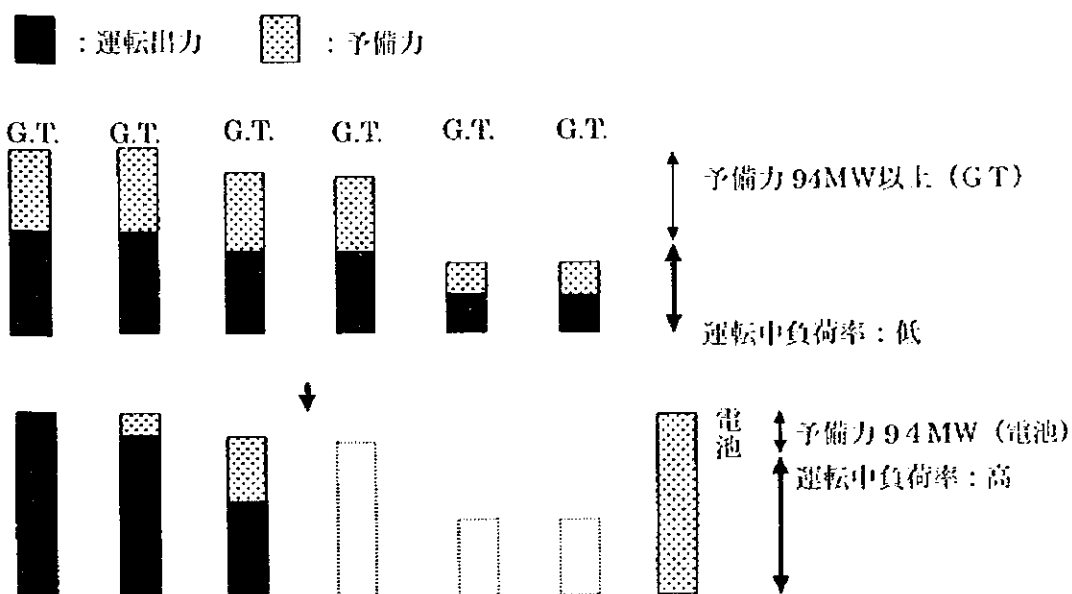


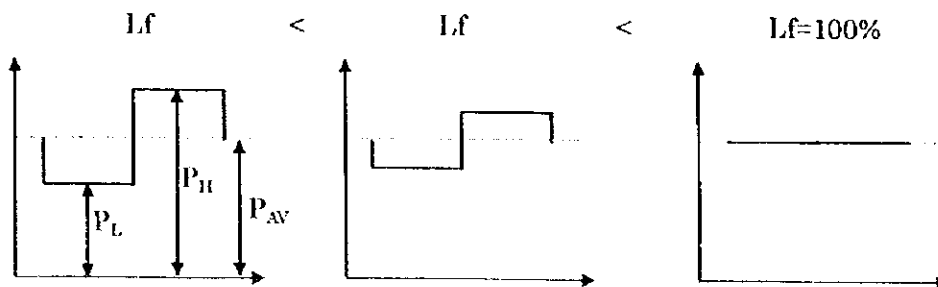
図 4-4-2 運転中負荷率向上の概念

## ②電圧安定化

電圧低下の大きい変電所に設置し、無効電力供給源として使用し、電圧の安定化を図ることも可能である。

## ③負荷平準化

負荷平準化により、ガスタービン負荷率を向上し、その結果発電効率向上によって燃料費を節減する。



$$Lf(\text{負荷率}) = P_{AV} / P_H$$

$$RLf(\text{運転中負荷率}) = P_{AV} / P_{100} (P_{100}: \text{Rated Output})$$

図 4-4-3 負荷平準化のモデル

- ・上の単純なモデル（図 4-4-3）に基づき、ガスタービンの運転中負荷率及び負荷の変動率を表わす負荷率を変化させたときの発電効率について考えてみる。
- ・運転中負荷率 50%（出力平均値）で、負荷率が 55%から 70%に向上することにより、ガスタービンの発電効率は相対的に 25%向上。

（説明）

負荷率 55%：最大出力 90%、最小出力 10%を仮定。

発電効率； $[0.97(\text{at } 90\%) + 0.33(\text{at } 10\%)] / 2 = 0.65$  (Annex:4-2-a より)

負荷率 70%：最大出力 70%、最小出力 30%を仮定。

発電効率； $[0.93(\text{at } 70\%) + 0.67(\text{at } 30\%)] / 2 = 0.80$  (Annex:4-2-a より)

発電効率の向上； $(0.80 - 0.65) / 0.65 = 0.23 \rightarrow$  約 25%

即ち、1%の負荷率向上（運転中負荷率 50%の場合）により、相対的に略 1.7%（25% / (70% - 55%)) の発電効率向上が期待され、Muscat 系統の燃料費用について考えると、燃料費は年間 24 MRO であるから、1%の負荷率向上により、約 0.41 MRO の燃料費の節減が可能である。Muscat 系統ではピーク時約 100 万 kW の負荷に対し、10 万 kW、1 日 4 時間、年間の 1/3 の稼働率で電池貯蔵システム運転を場合、上のモデル相当で約 1%の負荷率上昇しか期待できない。

(ピーク出力削減率：10万kW/100万kW×4時間/12時間×1/3【年間稼働率】＝約1%) さらに、電池の充・放電効率、約70%などを考慮すれば、効果は小さいものと考えられる。

また、オマーン国では、電源が安価なガスタービンの1種類と考えられ、ピークとボトム時の発電コストに差が出ず、負荷平準化の効果が低いと考えられる。さらに、電池電力貯蔵システムでは、負荷平準化用としての4～8時間の定格に近い時間の貯蔵容量と出力では、まだ、単位出力あたりの価格(RO/kW)が高く、安価なガスタービンとの競争には無理があるように思われる。

#### ④送電線の建設繰り延べ

発電所から変電所までの送電線の建設を繰り延べることが可能になり、コストの低減が図れる。オマーン国 Muscat 系統では、電源と変電所の距離が約10kmで近く、送電線増設費用は比較的安く、この送電線建設費繰り上げ効果は小さいものと考えられる。また、実際の計画でも、Muscat 近辺の発電所から変電所の送電線増強は、2010年に Ghubrah と Madinat Qaboos 変電所間の183,000ROが計画されているのみである。

#### ⑤送電線、変圧器のロス節減

変電所2次側設置により、発電所から、送電線、変電所へ流れるピーク時のロードを減少し、送電ロスの低減を図る。先の検討より、負荷平準化を狙った検討は外すのが得策と思われるので、このロス低減も考慮外とする。

以上、結果は次の表4-4-2のようにまとめられる。

表 4-4-2 検討項目と結果のまとめ

検討項目	要 約	評 価
a. 予備力代替、ガスタービン運転の効率化、燃料費の節減	相対的に発電効率向上により、年間1.5MRO オーダーの節約可能	・期待可
b. 電圧安定化	・電圧低下点至近変電所に設置可	・有望
c. 負荷平準化によるガスタービン運転の効率化、燃料費の節減	Muscat 系統で1%の負荷率向上で0.41M ROの節減 1%程度の負荷率向上が限界	・aに比べて効果小、電池に過酷な運転
d. 送電線の建設繰り延べ	・発電所と変電所の距離小、効果も小さい	・効果小
e. 送電線、変圧器ロス低減	・送電線、変圧器通過ピーク電力削減量多くは望めず	・効果小

(2)経済性の評価

①計算・評価の前提条件

ここで実施するコスト計算・経済性評価の前提となる、電池貯蔵システムやガスタービンの建設費、経費率や利子率などについてとりまとめておく。(表 4-4-3)  
これらの値は、前述のシステム実施例などを参考に決定したものである。

表 4-4-3 計算・評価の前提条件

項目	数値
利子率	0.08
物価上昇率	0
為替レート	130 円/US\$, RO0.388/US\$
建設費	
・ガスタービン (RO/kW)	13,850,000RO/94.1MW (オマーン実績)
・電池電力貯蔵システム (RO/kW)	366 (海外実施例、瞬動予備力用)
電池	110 (寿命 10 年)
付帯設備	256 (寿命 30 年)
運転維持費率 (年)	
・ガスタービン	0.03
・電池電力貯蔵システム	0.01
計算期間	1998 年から 20 年

②評価

前項の検討の結果、オマーン国では、電池電力貯蔵システムを発電予備力の代替として用いるのが最も効果的であるものと考えられる。そこで、表 4-4-4 に示すように、仮に、1998 年にほぼガスタービン最大容量相当の 100MW を建設すると仮定し、2018 年まで 20 年の期間について考えてみる。この場合の燃料節減効果を電池が 100MW 設置された時点で、1.5M RO/年とする。また、メリットととしてガスタービン最大容量分 1 基の建設を回避できるものとする。

計算結果を表 4-4-5 に示す。この結果、電池電力貯蔵システムへの投資は費用・メリット効果がなく、早期の導入には無理があるものと判断できる。

表 4-4-4 電源・電池開発のケーススタディ (MW)

Year	Base (Present Plan)		Study		
	Gen.	BES	Total	Gen.	BES
1998				-94	100
1999以降 2018迄					
Total				-94	100

表 4-4-5 コスト・メリットの比較

項 目		価値 (Present Value:RO10%)
電池導入を考慮した計画	ガスタービン建設回避メリット	17.9
	電池電力貯蔵システム建設他	-45.6
	燃料節減メリット	14.7
NPV		-13.0

#### 4-4-4. Muscat 系統の概念設計

##### (1)設置場所

電池電力貯蔵システムは変電所への分散設置に適しており、1ヶ所の変電所に大きなスペースを要することが無いよう、また、電圧補償用の無効電力供給源としても期待できるので、次の図 4-4-4 のように主な変電所に分散して設置するのが良いと考えられる。

- ・ 100MW を 5ヶ所に 20MW ずつ分散して配置。
- 系統の末端にも分散配置し、電圧安定度を確保する。

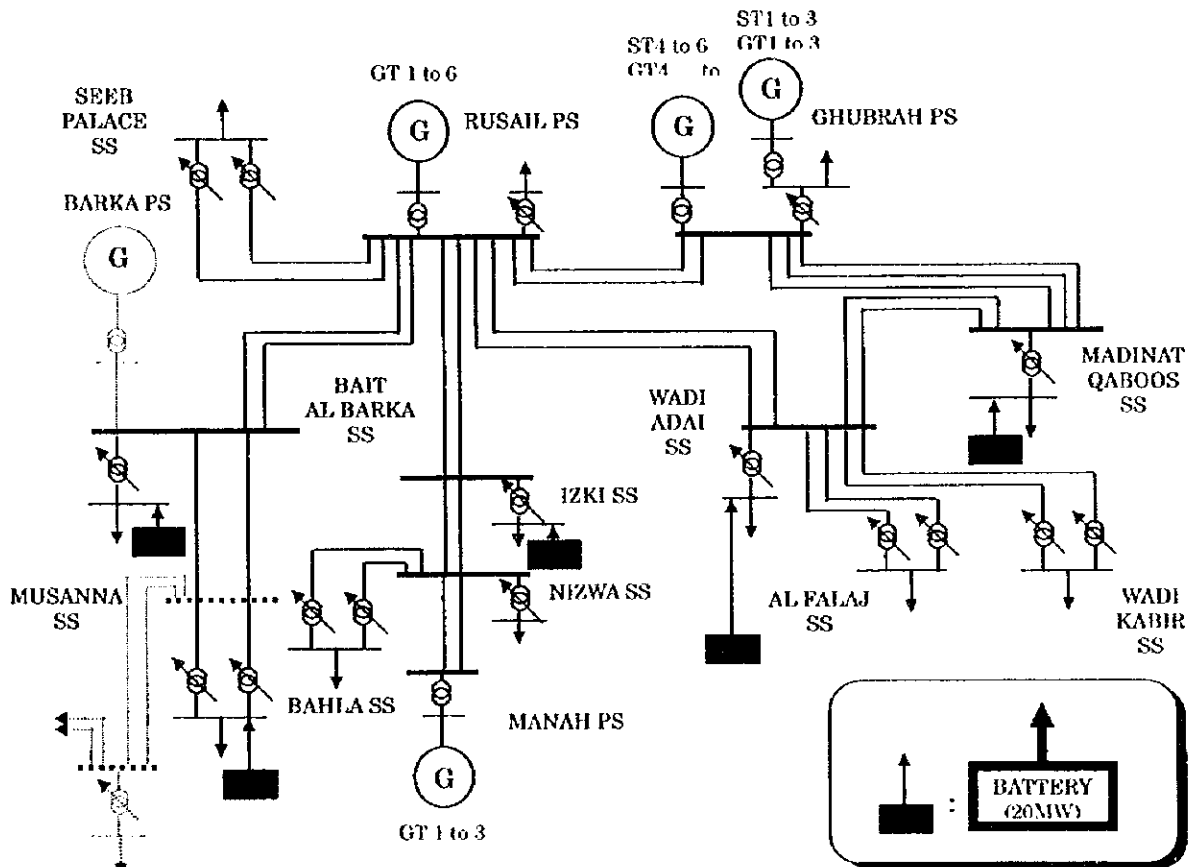


図 4-4-4 マスカット系統と電池電力貯蔵システムの配置 (案)



## (2)電池電力貯蔵システム変電所設置例

プエルトリコの例をモデルにして、これを Madinat Qaboos 変電所に設置する場合の電池接続構成を次の図 4-4-5 に示す。

1997 年 8 月のピーク負荷時の実績では、132kV から 33kV 母線に流れる負荷は約 140MW である。したがって、20MW の電池は 14% の負荷を担うことができ、33kV (20 フィーダ) の 3 フィーダ一分に相当する。設置スペースについては、プエルトリコの例では約 1,500m<sup>2</sup> を要し、Madinat Qaboos 変電所ではその隣地に MEW の用地があり確保は可能である。その他の変電所でも、現地踏査した変電所から想像するに建設用地については、問題はないものと考えられる。

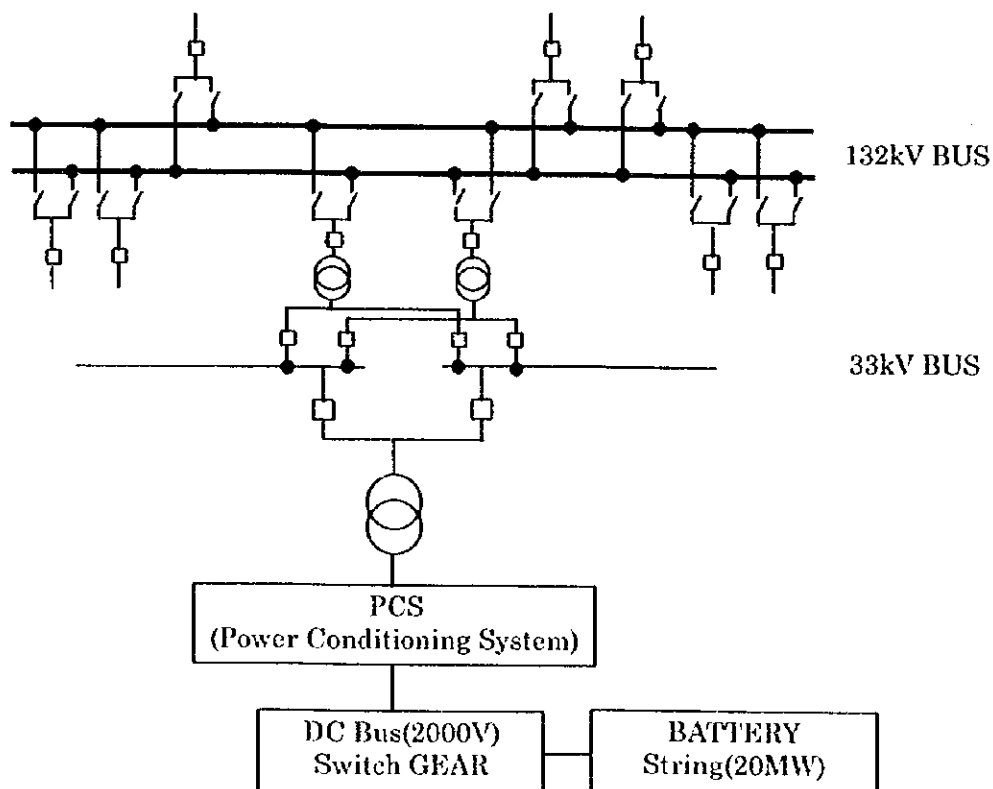


図 4-4-5 設置例 (Madinat Qaboos SS)

### 4-4-5. 電圧維持策への利用例

電池電力貯蔵システムを電圧維持対応策に利用する場合、電圧低下を抑えるのは基本的に SC と全く同じ機能である。そこで、SC の一部を電池電力貯蔵システムで置き換え、電力自体が不足する場合も、予備的な電源の役目も持たせるように電池電力貯蔵システムを設置することが可能である。ここでは、電圧低下抑制策として利用し、その効果について検討した結果を示す。

表 4-4-6 Voltage Keeping by Battery System

SS, PS	NO Measure	Measure	Battery(MVA)	SC(MVA)	Total
RUSAIL	0.952	0.977			
RUSAIL G	1.02	1.02			
WADI ADAI	0.917	0.955			
BARKA	0.909	0.968	20	20	40
SEEB 1	0.925	0.952			
GHUBRAH	0.953	0.974			
GHUB 13G	1.005	1.005			
MADINAT	0.937	0.964			
AL FALAJ 1	0.915	0.954	20	40	60
WADI KABIR	0.907	0.953	20	50	70
MUSANNAH 1	0.848	0.956	20	50	70
IZKI	0.953	0.969			
NIZWA	0.955	0.969			
MANAH	0.963	0.975			
MANAH G	1.025	1.025			
BAHLA 1	0.945	0.959			
KHABURA	1.008	1.008			

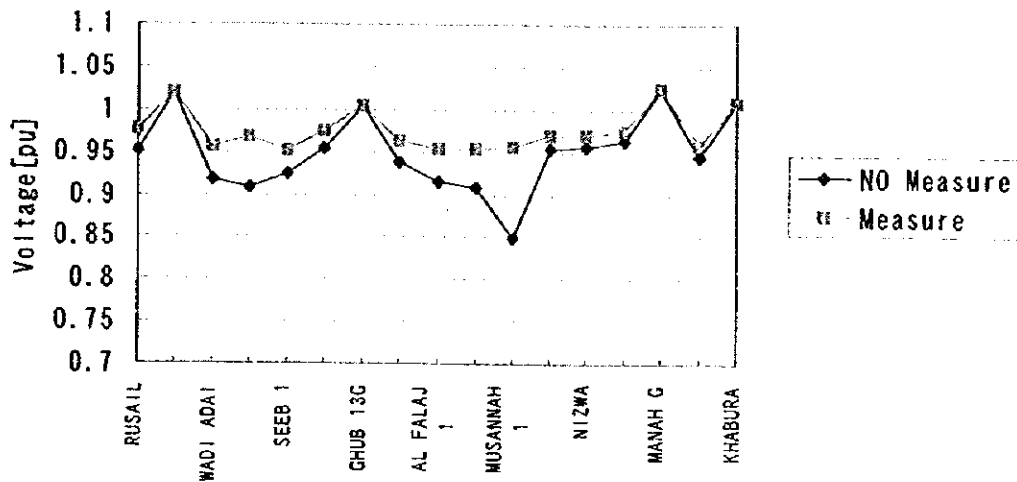


図 4-4-6 電圧の低下抑制効果

表 4-4-6 に示すように SC の一部を電池で代替した時、図 4-4-6 のように電圧の低下が抑制できる。

#### 4-4-6. マスタープランへの反映

以上の検討結果など踏まえ、マスタープランへは次の提案をしたい。

- ・ガスタービンの予備力代替として、燃料費節減を考慮しても、経済性はない。
- ・電池電力貯蔵システムの実績が少なく、電池の寿命の点でも信頼性が確立されていない。
- ・将来、他の湾岸諸国との電力系統連系の計画もある。

など、至近年の導入には問題があるものの、

- ・電圧安定化と同時に、非常用の電源としての機能も兼ね備えことができる。
- ・変電所などへ分散配置が可能で空き地の有効利用が可能、また、投資も分散できる。
- ・将来電池寿命の信頼性が得られ、コストも下がることも期待できる。

など有利な点も考えられ、全く放棄するのは得策ではない。

そこで、マスタープランの最終年 2010 年に 10MW、それ以降 10MW、20MW を順次導入、合計で 100MW（現在のガスタービンの最大容量相当）の規模を建設することを提案する。この場合のコスト計算結果を表 4-4-7 に示す。なお、ここでは電池電力貯蔵システムの建設費については現状の前提値（表 4-4-3）に対し、コストダウンを想定して 7 割の数値（256RO/kW）を用いている。

表 4-4-7 コスト・メリットの計算

Year	Period											Total
	1998	...	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
Battery(MW)			10	10	10	10	10	10	20	20		100
G.T.(MW)			-91									

Unit: million RO

Battery Storage System Costs (including M & O)	-7.8
Investment saving of Gas Turbine	6.4
Fuel Saving	1.5
NPV	0.1

## 第 5 章

### 需要面からの対策



## 5. 需要面からの対策

### 5-1. DSM 概要

#### 5-1-1. DSM とその意義

オマーン国においても、近年民生用の冷房需要の増加に起因して、電力系統の負荷変動が大きく、安定的な電力供給に支障を来している。また、その負荷率の低下等が電力供給設備の有効な運用を妨げている。さらに、世界的に環境問題の制約が厳しくなり、国によっては電源立地も厳しくなり、設備建設は次第に困難さを増している。こういった状況は、今後、オマーン国でも全く無視はできないものと考えられる。このような状況で、供給者と消費者の協調を目指す、電力システムの新しい運用方策として、デマンドサイド・マネジメント (Demand Side Management, DSM と略す) が注目される。この DSM の目的は、電力供給者から需要者側に積極的に働きかけて、電気事業にとっても社会全体にとっても望ましい需要 (負荷のパターンおよび大きさ、品質) を誘導する計画を立案し、実施することにある。その概念を図 5-1-1 に示す。

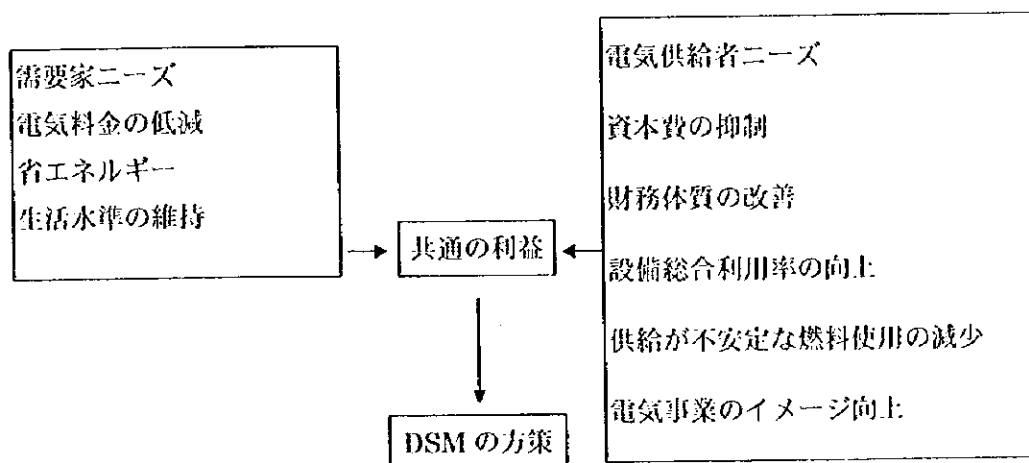


図 5-1-1 DSM のあり方の概念

次に、この DSM の主な方策 (これが DSM の狭義の意味でもある) としては、

- ・ 電力負荷の平準化
- ・ 省エネルギー
- ・ それらの広報活動

が取り上げられ、これらによって次の効果が期待できる。

- ・ 電力設備の投資を軽減し、電気料金を軽減する。(負荷平準化、省エネルギー)
- ・ 電力設備運用の効率化を図り、コストを軽減し、電気料金を低減する。(負荷平準化)
- ・ 省エネルギーと企業イメージの向上。(省エネルギー)

方策の一般的な効果について、次の図 5-1-2 に示す。

負荷平準化は、ピーク時の負荷を抑制することにより、電力供給設備の負荷率を向上した効率的な運用によって、コストを低減させようとするものである。

省エネルギーは、全体の電力負荷を低減し、結果的に電力供給設備に要求されるピーク時の負荷を抑えて、効率の悪い運用を余儀なくさせられる部分を少なくしようというものである。また、これは、近年の世界的な地球環境対策への対応策としても、時流に乗った方策であると言える。

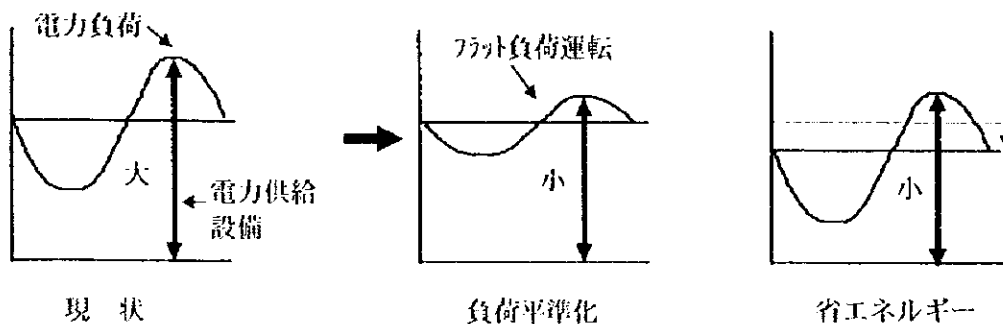


図 5-1-2 DSM 方策とその効果の概念

次に DSM の方策に用いられる具体的な技術は次の表 5-1-1 のようにまとめられる。これらの内には、まだ SMES、フライホイール、CAES など研究開発段階のもの、電池などほぼ実用化されているもの、揚水など完全に成熟した技術が混在している。

表 5-1-1 負荷平準化関連技術とDSM

区分	設置場所	発電所	変電所	需要家側
				(●:ハードウェア、◆:ソフトウェア)
負荷平準化	ピークシェーピング			太陽電池 コ・ジェネ ガス冷房 負荷直接制御 料金制度
	ピークシフト	揚水 SMES (*1) (超電導エネルギー貯蔵) CAES (*2) (圧縮空気貯蔵)	電池 SMES フライホイール	電池 蓄熱空調 料金制度
	ボトムアップ			電気温水器 他 電気自動車 料金制度
	その他			負荷平準補助制度
省エネルギー		高効率ガスタービン		高効率器具 太陽電池他(自然エネルギーの利用) 省エネルギー補助制度
広報活動				DSM 調査・アドバイス

(\*1)Superconducting Magnetic Energy Storage.

(\*2)Compressed Air Energy Storage.

### 5-1-2. オマーン国の電力系統と DSM 導入検討施策の概要

#### (1)電力系統の概要と DSM の概念

オマーン国では、その調査結果などを踏まえ、オマーン国の電力系統の概要と今回調査項目の関係は次の図 5-1-3 のように整理できる。影付き項目が DSM を示す。

図にはサプライサイドの技術も示されている。この中で、オマーン国にとって特に有利と考えられるものを十分検討のうえ、その実現に向けて対応して行くべきである。



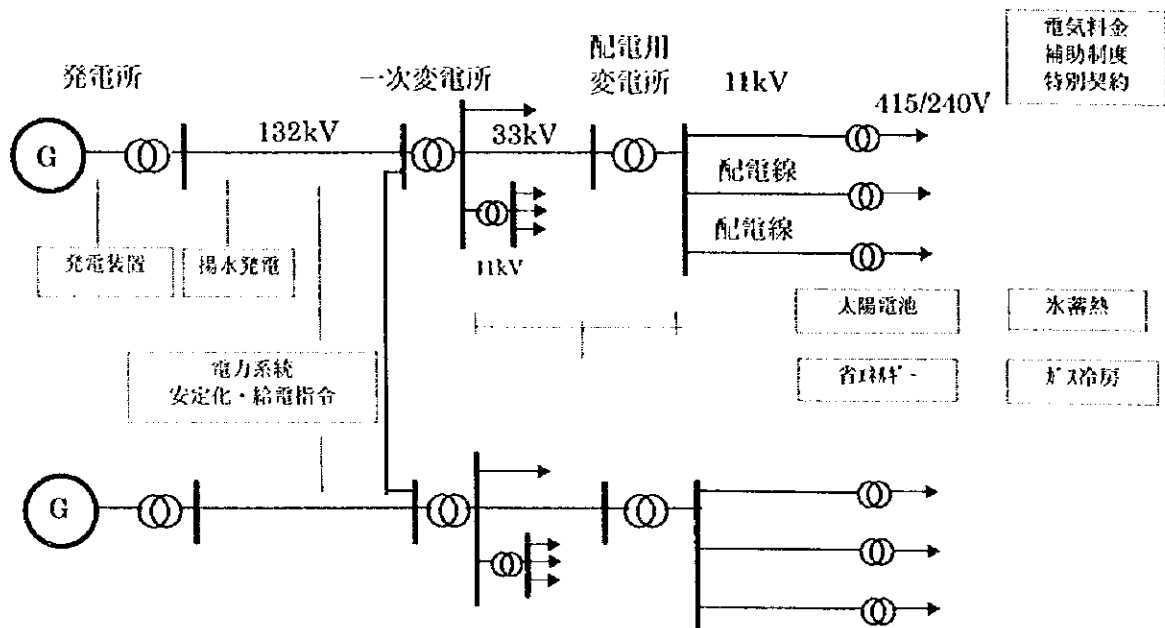


図 5-1-3 電力系統と DSM 技術の位置付け

(2)ロードカーブと負荷平準化方策

①ピークロードの不等時性と負荷平準

Muscat 電力系統の負荷変動について、1 次変電所、配電用変電所などの単位で資料調査を行い、次の表 5-1-2 のような結果が得られた（ロードカーブ図; Annex: 5-1-a~f を参照、1997 年のピーク日の変電所日誌より）。

主要送電線のロードカーブ（Annex: 5-1-a）および 33kV 母線のロードカーブ（Annex: 5-1-b）は第 2 章の電力需要関係の説明のように、1 日にピークが 2 回発生する形となっている。33kV および 11kV フィーダの負荷は、その供給区分に依ってピークの出る時刻に差異がでている。これは需要末端に近くなるほど顕著である。このため、後でもふれるように需要末端でのピークシフト方策は、その効果が小さい。また、11kV フィーダーの変動値を、11kV 母線に繋がる平均的なフィーダーの数（10）倍した値（9MVA）は、11kV 母線の変動値（2.8MW）より大きく、各 11kV フィーダーに所謂ピークの不等時性のあることが分かる。

従って、負荷の最末端では、ピークシフトより、太陽電池などによるピークカットが効果的であると考えられる。太陽電池は、自然エネルギーの利用により、省エネルギーにも効果的である。

ここでは、電池電力貯蔵システムを変電所に設置し、電力負荷の平準化に使用することを想定して各レベルの変電所あるいはフィーダでの負荷変動量を概算してある。

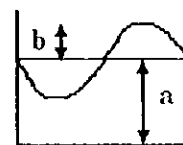
## ②負荷平準化の方法

負荷平準化が緊急の課題として取り上げられている国々では、数々の技術が開発されている。日本もその一つで、電力のロードカーブの改善に努力を続けている。

負荷平準化に最も有効と考えられる技術は、氷蓄熱（ピークシフト）とガス冷房（ピークカット）であり、あとの章でこれら技術の導入可能性を検討している。

表 5-1-2 オマーン国負荷変動の概要

項目	平均負荷(a)	変動幅(b)
1次変電所 33kV 母線 (132/33kV 変圧器負荷例)	132 MVA	23 MVA
配電用変電所 11kV 母線 (33kV フィーダ負荷例)	8.0 MW	2.8 MW
配電線 11kV フィーダ (フィーダ負荷例)	3.2 MVA	0.9 MVA



(計算方法)

### 1次変電所 33kV 母線(Annex 5-1-b)

平均負荷：マディナットカブス変電所変圧器負荷の日平均値

変動幅：日平均値からの変動の最大値

### 配電用変電所 11kV 母線 (Annex 5-1-c,d)

平均負荷：Annex 5-1-c,d の 6 フィーダ (33kV) の平均値

変動幅：日平均値からの変動の最大値の上記 6 フィーダ (33kV) の平均値

### 配電線 11kV フィーダ (Annex 5-1-e,f)

平均負荷：Annex 5-1-e,f の 3 フィーダ (11kV) の平均値

変動幅：日平均値からの変動の最大値の上記 6 フィーダ (11kV) の平均値

## (3)省エネルギー

オマーン国では、家庭用電気製品などは外国から比較的新しい製品が輸入されており、従って、クーラーなども省エネルギータイプが普及しており、電気製品自体の省エネルギー化は進んでいるものと思われる。従って、太陽光発電など自然エネルギーの利用による省エネルギーを考えた方が効果的であるものと考えられる。

建物の断熱等については、コンプレックスビルなどでは屋根の部分に二重のビニールシート

などによる空調の放熱対策が施されている例もあり、省エネルギーに対する意識はある程度浸透しているものと考えられる。ただし、建設総合会社の専門家によれば、オマーン国には建物の断熱に関する基準はなく、殆どの建物はその外側はコンクリートブロックのみで、2重構造の断熱構造等にはなっていない、とのことである。そこで、以下、オマーン国の今後の省エネルギー施策の参考のために、日本の省エネルギー政策の体系と建物についての判断の基準の概要を取り上げて紹介する。（「省エネルギー便覧」、(財)省エネルギーセンターより）省エネルギーについては強制的に行うものではなく、指針、ガイドラインを政府が示して、消費者の自主的な取り組みを促すことが基本となる。なお、日本でこのような省エネルギーに関して中心的活動を行っているのは、公的機関の財団法人省エネルギーセンターである。

#### [日本の省エネルギー政策の体系]

エネルギーの使用の合理化に関する基本方針として、次のように体系化されている。

##### ①産業部門

- ・エネルギー使用合理化：判断基準の策定、公表
- ・大口エネルギー使用者：指定工場に指定（エネルギー管理者の選任ほか）
- ・小口エネルギー使用者：エネルギー使用合理化に関する診断指導ほか
- 省エネルギー設備投資に対する助成：省エネ・リサイクル支援法に基づく助成（金融、税制）ほか

##### ②家庭・業務部門

- ・建築物：建築主に対する判断基準の策定、公表
- ・建築物の省エネルギー設備投資に対する助成：省エネ・リサイクル支援法に基づく助成（金融、税制）ほか
- ・民生用機器：特定機器のエネルギー消費効率に関する判断基準の策定、公表ほか
- ・民生用設備の普及促進のための助成

##### ③運輸部門

- 自動車：特定機器のエネルギー消費効率に関する判断基準の策定、公表ほか  
：省エネルギー的使用方法等の情報提供
- ・大量輸送機関：整備・利用拡大策等の検討

##### ④技術開発

- ・省エネルギー関連技術研究開発に対する助成

## ⑤広報活動

エネルギーの合理化・効率的使用に関する普及啓蒙活動

## ⑥国際協力

・国際会合、国際エネルギー使用合理化対策事業、専門家派遣、研修生受入ほか

### [建築物のエネルギー使用合理化の判断基準の概要]

- ①特定の建築物（ホテル・旅館、病院・診療所、物品販売店舗、事務所及び学校）に対し、
- a.建築物の外壁、窓等を通しての熱の損失防止
  - b.空気調和設備、機械換気設備、照明設備、給湯設備、昇降機（エレベーター）に係るエネルギーの効率的利用、
- について、熱損失や実際に設備される装置の消費エネルギーが所定の値以下になるように規定されている。

## ②住宅

住宅（一戸建の家からマンションまで）の建築主は、熱損失係数や日射取得係数が所定の値以下になるように規定されている。日本全国を北から南に6つのブロック分け、各ブロック毎に値が定められている。

### 「オマーン省エネルギーセンター（仮称）」の活動内容

省エネルギーの企画立案

省エネルギー機器の積極導入の推進

代表的な冷房負荷の長期サーベイなど、効率的な冷房システムなどの計画・導入データの収集

建築面での省エネルギー対策（建物の断熱等）の推進と基準の制定

補助・融資政策

省エネルギー投資への政府補助、低利融資、税制優遇制度

省エネルギー実施実績の評価および報奨

啓蒙・広報活動

エネルギー使用上での環境改善策の推進、効果の評価

設備診断・省エネルギーアドバイザー等の養成と、アドバイザーによる省エネルギーの啓蒙

## 5-2. ガス冷房システム

### 5-2-1. ガス冷房システム導入の基本的考え方

#### (1) 導入検討の目的

DSM の観点から、天然ガスを燃料とするガス冷房システムをオマーンの都市部の建物に対し導入検討した目的は、

- ・需要端における冷房用電力消費量の削減 (DSM)
- ・天然ガスの直接利用による省エネルギー

という効果が大いだと予想されるからである。Muscat 地区では天然ガスを利用して発電した電気によって冷房が行われている。したがって、天然ガスを直接冷房に利用することができれば大きなメリットが生まれる可能性が高い。

#### (2) 導入検討の対象建物

上記の目的に対し、ガス冷房導入検討のために調査を行った建物は、

- ・政府官庁建物 (Ministry of Civil Services ; Ministry of Electricity and Water)
- ・病院・ホテル (Royal Hospital ; Al Falaj Hotel)
- ・複合商業施設 (Al Araiimi Complex)
- ・住宅 (比較的大きな Villa)

であるが、このうち導入効果の大いだと予想される病院・ホテルについて導入システムの設計検討を行い、後述のごとき有意な結論を得たので実現推進を提案する。

#### (3) ガス冷房システムの種類と特徴

ガス冷房システムは、日本でも電力需要のピークを削減する DSM の有力な方策として近年中小規模以上のビルで急速に普及しており、1996 年ではガス冷房総容量は 250 万 RT 以上に達している。

##### 原理

冷房のための冷水製造機の原理には二つのタイプがあり、一つは電気式冷房等で一般的に利用されている冷媒圧縮方式であり、もう一つはガス冷房で応用されている冷媒吸収方式である。圧縮方式はフロン等の冷媒をコンプレッサーで圧縮後膨張させる方式で循環冷水から熱を奪って冷やす方式であり、蒸発、圧縮、凝縮、膨張のプロセス・サイクルを有している。

##### ガス冷房方式の種類

ガスを利用した冷房システムには大きく分けて 2 種類あり、ガス吸収 (Gas Absorption) 方式とガスエンジン・ヒートポンプ (GHP) 方式とであり原理も異なる。ガス吸収式は図 5-2-1 のように冷媒について蒸発、吸収、再生、凝縮のプロセス・サイクルを有する原理で循環冷水

を冷やす方式で、冷媒としては水を使用し、吸収液として人体無害な臭化リチウム (LiBr) を使用する。原理としては水を真空容器中 (6.5mmHg)、5℃で蒸発させた際に循環冷水から潜熱を奪うもので、その後の容器の真空を維持するために LiBr によって水蒸気を吸収させ、水蒸気吸収後希薄になった LiBr 溶液を水蒸気と濃縮液に分離するためにガスの燃焼熱又は蒸気熱が使用される。これは比較的大規模のビルに多く適用される。これに対して GHP 方式はガスエンジンを駆動源とした圧縮方式であり、中小規模のビルに適用される。

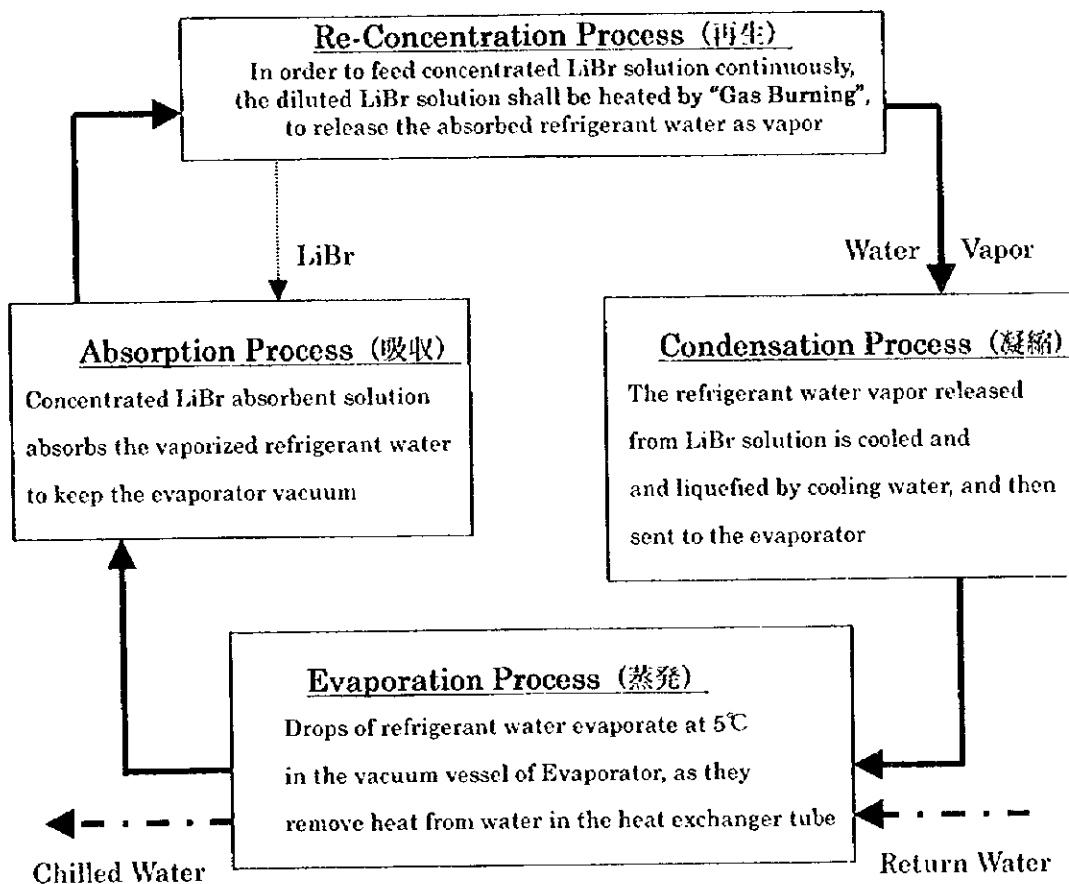


図 5-2-1 Operating Principle of Gas Absorption Chiller

表 5-2-1 のように大規模のビルには効率及び経済性からガス吸収式冷水機方式 (蒸気吸収式及び直接ガス焼き吸収式) が多く適用され、特に大規模の病院、ホテル等で蒸気 (又は温水) による熱供給も必要なビルには発電機と組み合わせた「コ・ジェネレーション・システム」が採用されることが多く、この場合はエネルギーの有効利用によって大幅な省エネルギー効果が生まれる。表中の RT は冷房能力規模である。

表 5-2-1 Type and Capacity of Gas Cooling System

Type	Capacity	Building(m)	--3,000	--10,000	--50,000	--100,000
GHP	10-50 RT	For small Office, Shop				
Multi-GHP	10-100 RT	For Buildings with multi-tenants				
Gas Absorption	100 - 3,000 RT	For Large-scale Buildings				
Co-Generation with Gas Turbine, Engine, Absorption Chiller	300 -- 5,000 RT	For Hospitals, Hotels, Large-scale Buildings, District Cooling				

なお、ガス吸収式(又は蒸気吸収式)冷凍機は、効率の良い二重効用式が主として日本のメーカー(川重冷熱、サンヨー、三菱重工、日立、荏原、ダイキン、矢崎)で生産されており、メーカーによって異なるがラインアップとして100, 150, 200, 300, 400, 500, 1000, 1500, 2000, 3000 RTの機種が用意されている。

ガス冷房システムを既存の建物に導入する概念図

電気冷房を行っているホテル・病院等の規模の大きな建物にガス冷房(例として蒸気吸収式冷水機)を導入する場合の概念図は図5-2-2のごとくである。

Steam Absorption Chiller System with a Gas-fired Boiler

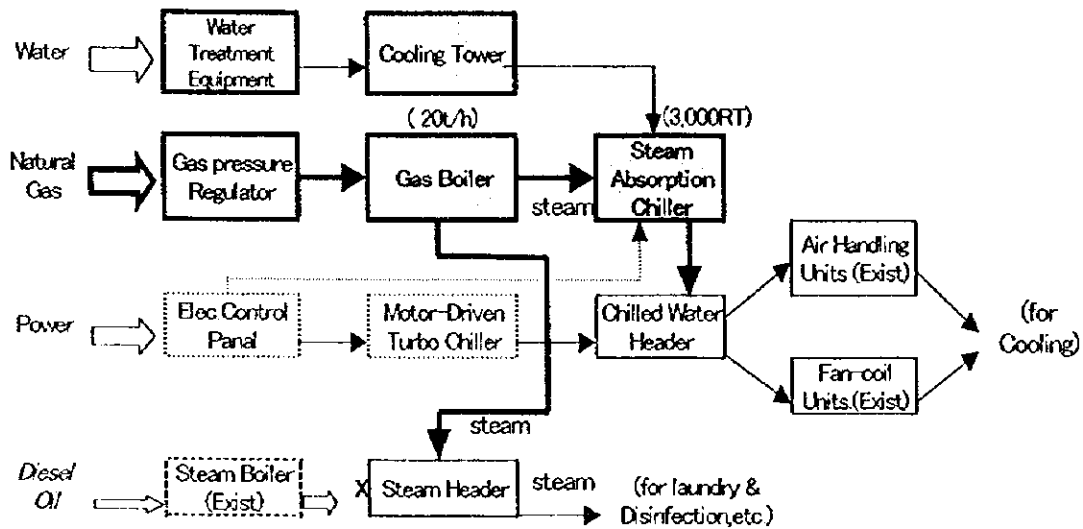


図 5-2-2 ガスボイラーと蒸気吸収式冷凍機によるガス冷房システム

上の図で、網がけした機器がガス冷房導入に必要な設置機器で、白枠の機器は既存のもので

これを利用する。天然ガスボイラーの導入により点線枠の既存設備は不要となる。

## 特徴

ガス冷房方式導入の基本的特徴は、

- a. 電力消費の絶対量を削減する効果を持つ
- b. 電気式冷房システムに比べ省エネルギー<sup>(注)</sup>であり、ランニング・コストが安い

(注) 電力は需要端では天然ガスの1次エネルギーの20%程度であり、冷凍機のCOPが仮に3であるとしても(オマーンでは実際は2程度)60%であるの対し、ガス冷房では天然ガスの1次エネルギー100%の内80%が有効利用される。

- c. 電気式冷房システムに比べ、騒音・振動が無く安定した稼働が出来る
- d. 一年に一回の保守点検でよく、運転資格は必要ない
- e. 環境へのインパクトが少ない。即ち、(a)化石燃料の中で環境に一番優しい天然ガスを利用することによって、SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>の放出を削減できる。(b)冷媒としてオゾン層を破壊するフロンを用いておらず、吸収液として用いている臭化リチウム(LiBr)は人間にも環境にも無害である。

ガス冷房普及策として日本では、割引料金制度、低金利融資制度、及び税制優遇制度が採用されている。

(注) 日本ではガス料金も電気料金もオマーンよりかなり高いが、ガス料金は一般料金の従量料金が0.28—0.37 R0/m<sup>3</sup>に対し、小規模空調用料金が0.165—0.218 R0/m<sup>3</sup>、空調用夏季特別料金が0.0077—0.127 R0/m<sup>3</sup>、と割安になっている。

以上は電気式に比べガス冷房が有利な点であるが、不利な点は

- a. 冷却水が必要であること。
- b. 機器寸法がやや大きいこと。
- c. 機器設備コストが電気式よりもやや高いこと。
- d. 一般家庭用の小型パッケージ型のものは未だ開発途上にあること。

である。

次にオマーンでガス冷房方式を採用した場合の設備費と運転費の違い(試算値)を示す。(表5-2-2) このように設備費はやや割高であるが、天然ガスを直接冷房に利用するため、大型の設備の場合には、総合的な経済性でガス冷房の方が有利となっている。



表 5-2-2 ガス冷房設備と従来型の冷房設備（電気）のコスト比較

		Runnig Cost (Bz/RT.h)	Capicity Cost (Bz/RT.h)	Total Cost (Bz/RT.h)
	Electricity	30	8~10	38~40
大規模ビル	Gas Cooling 【Co-Gen】	11	13	24
	【Steam-Abs.】	16	9	25
	【Gas-fired】	16	9	25
中規模ビル	Gas Cooling 【Steam-Abs.】	16	13	28
	【GHP】	16	20	36

エネルギー消費の適用単位は：電力は 30Baiza/kWh、ガスは 19.7Baiza/m<sup>3</sup>(8,700kcal/m<sup>3</sup>)である。

(4)ガス・コ・ジェネレーション・システム導入の効果

ガス・コジェネレーション・システムは、エネルギー需要場所において天然ガスをエネルギー源として電気や熱など二つ以上の必要エネルギーを同時に取り出すシステムであり、発電、冷暖房、給湯、蒸気利用等、多目的のエネルギー利用を行う病院、ホテル、又は大規模商業施設等に適した高効率な省エネルギー・システムである。即ち、ガスエンジンやガスタービンの動力で発電機を駆動すると共にその多くの排熱を回収して冷房や給湯、蒸気利用に有効利用するもので、需要端に供給される商用電力が一次エネルギー(天然ガス)の 35%以下の効率であるのに対し、最終的なエネルギー利用効率 70-80%が実現可能な大幅な省エネルギー・システムであり(下図 5-2-3 参照)、ランニングコストの大幅削減が可能で経済性も高い。又同時に、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、CO<sub>x</sub> の発生量も削減できることから地球環境保護にも貢献できるシステムである。即ち、燃料のディーゼル油を天然ガスに替えるだけで、Sox はゼロ、NO<sub>x</sub> は約 50%削減でき、CO<sub>2</sub> は 28%削減可能である。従ってこれに省エネルギー分を加味すると削減効果はもっと大きくなる。

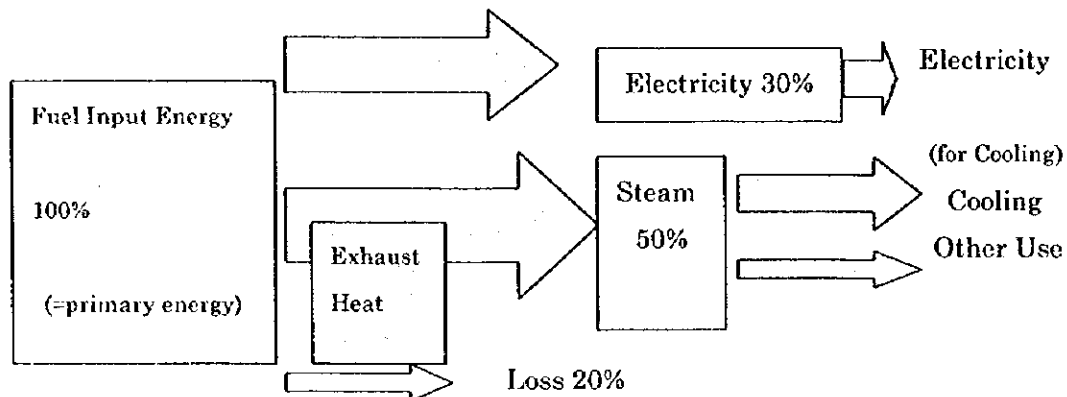


図 5-2-3 Effective Energy Utilization by Co-Generation

更に、オマーンにおいてエネルギー多消費型の病院、ホテルを中心に天然ガスによるコ・ジェネレーション・システムの導入すれば、ピーク電力削減効果により発電所での新プラントの開発を延期でき、同時に既存プラントの利用効率を改善する効果も期待することが出来る。

## 5-2-2. 調査結果の分析及び検討

### (1) 収集情報・データ

#### ① 気象データ

1996年における Muscat 地域の年間月別平均気温及び湿度は下のグラフ図 5-2-4 の通りである。最高気温日及び最低気温日の時間別気温、さらに湿度変化の調査結果は Annex: 5-2-a, "General Weather Conditions at Muscat in Oman"を参照されたし。

これを見ると、オマーンの Muscat 地域の気象条件は5月から8月にかけての夏季には平均気温が 35℃ 近くになり、最高気温は 48℃ にも達しているが、平均湿度は比較的低い。気温が極めて高いため建物自体が熱を持ち、冷房需要がピークに達し電力のピーク負荷を招いていることは容易に想定できる。又、供給水の温度も高くなり 35℃ を超えることもあり、空調システムの冷却過程にとっては悪条件であるが、5月—7月の気温の高い時期は比較的低湿度が少ないことが分かり、8月、9月の例外を除き、絶対湿度がほぼ一定であると考えられる。従って、空調のための悪条件は、幾分緩和されることになる。

Monthly Average Temperature and Humidity in Muscat

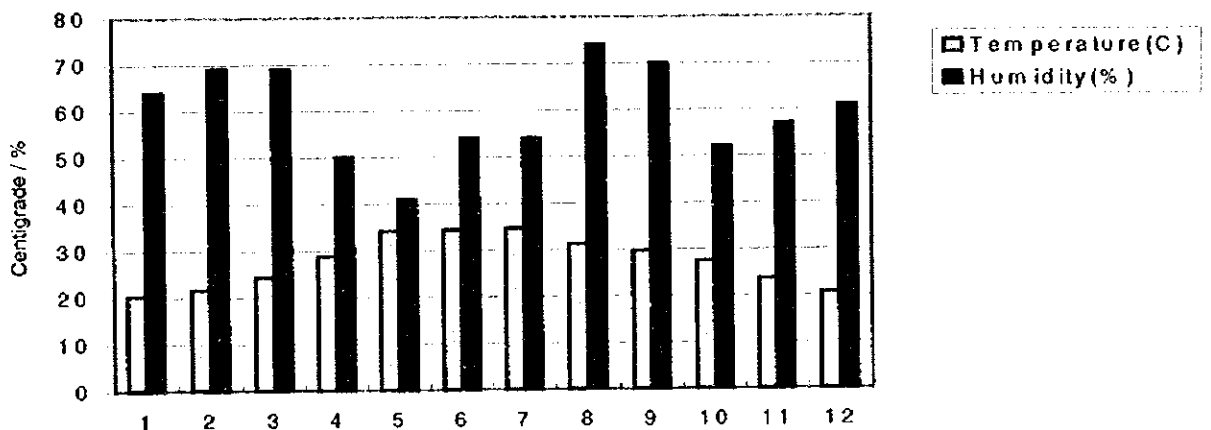


図 5-2-4 Meteorological Condition in Muscat, Oman

### 水の供給

ガス冷房を検討する上では、技術的課題として冷却水用の水の温度と供給余力が問題となるが、水の温度は 35℃以下ならば技術的解決が可能であり、供給余力も MEW で調べたところ、Ghubrah の Desalination Plant 及び Wadi Aday にある Eastern Wellfield と Seeb & Al Khuwair にある Western Wellfield からの供給ならび Storage によって 下表 5-2-3 のごとく対応可能である。

表 5-2-3 Water Production /Consumption and Capacity in Muscat Area(1997)

Water Production / Consumption (unit: Gallon)			
	Production	Monthly Average Consumption	Daily Average Consumption
Total	12,320,988,680	12,305,937,980	(33,714,898)
<i>Maximum Consumption -Peak-day (26/5/97)</i>			42,942,220
<i>Minimum Consumption (1/1/97)</i>			31,086,580
Water Supply Capacity (unit: Gallon /day)			
Desalination Plant			34,000,000
Easter Well-field			4,500,000
Western Well-field			4,500,000
Total			43,000,000 +Storage

#### ・調査対象建物の設備及び冷房負荷データ

調査対象建物の現状の建築設備、空調設備容量の概要、ならびに過去 1 年間の電力消費量、及びこれらから推定した単位当たり冷房負荷(kcal/h.m<sup>3</sup>)の調査結果の要約は、次表 5-2-4“Features of the objective buildings for Cooling System”の通りである。

表5-2-4 Features of the objective buildings for Cooling System

Name of Building	Ministry of Civil Services (MCS)	Ministry of Electricity & Water (MEW)	Royal Hospital	Al Falaj Hotel	Al Arami complex	Residential Villa
For Use	office	Office	Hospital	Hotel	Commercial shop	Residential house
Total Stories	6	3	4	8	3	2
Structure	reinforced concrete	Reinforced concrete	Reinforced concrete	Reinforced concrete	Steel frame dome	Concrete
Total Floor Area (m <sup>2</sup> )	11,200	7,710	55,692	9,244	15,000	250-450
Average height between stories	3.5m	3.5m	3.0m	3.0m	Center part, from base to top is a stairwell	3.0m
Total capacity of the existing cooling system (RT)	(150RTx3+1 for comp)	600 RT	3,240 RT	740 RT	560 RT	10-30RT
Type of cooling equipment	Elec. Compressor Chiller/AH (Flotronic)	Elec. Compressor Chiller/AH (Carrier)	Elec. Compressor Chiller/AH ( )	Elec. Compressor CHW/FCU (Carrier)	Elec. Compressor Chiller/AH (Lennox)	Package type A/C
CHW lvg/ent Temperature	7.0°C/12°C		7.0°C/12°C	8.0°C/12°C (measured)		
Setting Temp/Humid	Avr. 22-24°C/50%		Avr. 24°C/50%	Variable as control		
Design/Install Co.	Majan Eng./Bahwan Eng.	/Bahwan Eng.	Winpey.	Bahwan Eng. Co.		Bahwan, etc.
Power consumption (kwh/month)	(8h/d, 5d/w); comp(24/d, 7d/w)	(8h/d, 5d/w)	(24h/d, 7d/w)	(24h/d, 7d/w)	(11.5h/d, 6.5d/w)	(24h/d, 7d/w)
--Summer	210,750	296,360	3,852,580	529,410	364,000	
--Winter	89,850	65,490	1,686,290	243,140	224,000	
Power Consumption for cooling (kwh/month)						
--summer			2,725,720 (estimated)	409,410		
--winter			944,620 (estimated)	123,140		
Maximum Heat Load by Capacity (kcal/m <sup>2</sup> .hr)	121.5		176	242	113	150-200
Actual Heat Load estimated (kcal/m <sup>2</sup> .hr)			150	120		
Diesel Oil Consumption (kl/month)			(6.3tx(1+1) steam boiler for Laundry, Csst. Incinerator	(1.4t steam boiler for Laundry, Sauna		
For equipment			4.1 kl =2,500 for Kitchen, residential	3,000 for kitchen		
LPG Consumption (kg) For equipment						

この表中の、単位空間当たりの最大冷房負荷 kcal/m<sup>2</sup>.hr (設計データ或いは推定計算) は、現状の冷房空間面積、運転状況 (稼働時間、電力消費量) のデータをベースに推定計算したものである。その他省エネルギーを検討する目的で、蒸気ボイラー用及び給湯用の Diesel Oil の消費量ならびに調理用の LPG 消費量も記してある。

**Ministry of Civil Services** については、この建物の設備設計工事及びメンテナンスを担当している Bahwan Engineering Co. からの情報・データに基づいている。建物は比較的新しく冷房対象の床面積は約 12,000 m<sup>2</sup> で、150RT x 3= 450RT の冷房設備規模であり、休日を除く a. m. 5:00—p. m. 9:00 (事務室は—p. m. 3:00) の運転である。推定の最大単位冷房負荷は約 120 kcal/m<sup>2</sup>.hr であるが、日本の事務所の場合の平均約 90 kcal/m<sup>2</sup>.hr に比べて3割位多いが気象条件の相違を考慮すると納得できる範囲である。

**Royal Hospital** は大規模な病院で約 65,000 m<sup>2</sup> の床面積を持ち隣接地域に大規模な職員住宅群を擁している。冷房設備容量も病院本体だけで 3,240RT (職員住宅群は 1,580RT) と巨大な容量を持ち、24 時間運転の冷房の他照明電力等によって最夏季には 1 ヶ月当たり約 4 百万 kwh の電力を消費している。この他洗濯・消毒・シャワー用の蒸気/温水ボイラー、調理用ガス、等のエネルギーを大量使用している。しかし冷房負荷の変動に併せた制御方式ではないため省エネルギーにはなっていない。尚照明設備にはいくつかの省エネルギーの工夫も行っていた。Royal Hospital の月別電力消費量は次のグラフ図 5-2-5 の通りである。

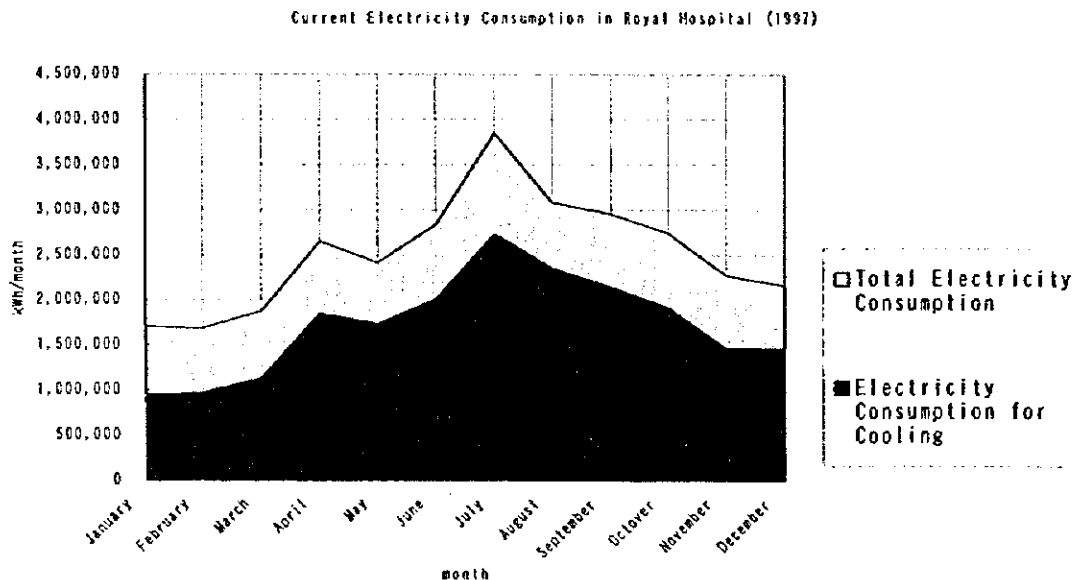


図 5-2-5 Power Consumption in Royal Hospital

Al Falaj Hotel の冷房設備は旧設備が 40RT x 4 x 2、新設備が 30RT x 7 x 2 で合計 740RT とかなりの設備容量であるが、設備稼働率は最夏季でも 60--70% であり、さらに冷房設備の効率も悪く計算すると COP が 3 以下であると推定される。従って必要設備容量は 300RT 程度と推定される。勿論 24 時間運転で、病院の場合と同様冷房の他、ボイラー用としてディーゼル油、調理用として LPG を相当量使用している。推定最大冷房負荷は 242 kcal/m<sup>3</sup>.hr と大きい冷房設備容量 740 RT から計算したものである。過剰設備容量になっていることを考慮すると、ホテルの実際の負荷はこの半分位と考えられる。ホテル側としては省エネを図りたいとしてガス冷房に関心を示している。但しガスパイプラインの敷設距離は長く(約 20km)、都市ガス供給ネットワーク構築後にならざるを得ない。(地図 Annex:5-2-b 参照) Al Falaj Hotel の月別電力消費量は次のグラフ図 5-2-6 の通りである。図中の冷房用電力消費量は専用メータが無い場合、推定したものである。

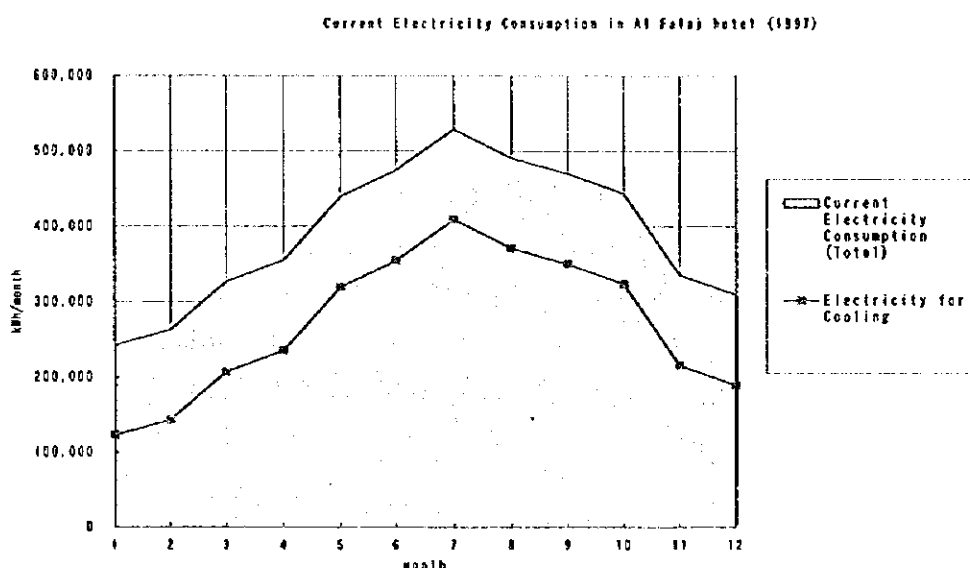


図 5-2-6 Power Consumption in Al Falaj Hotel

Al Araini Complex の建物はドーム型であり大空間冷房が必要であるが、この種の建物は多くのテナントを抱えている関係上、空調設備も各テナントごとの個別設備設置が基本になっていた。屋根は採光も兼ねて布膜式であったが冷房負荷低減の工夫も多少あった。ガス冷房の対象として十分考えられる。尚、この複合商業施設の周りには同じようなものが 6 乃至 7 施設が集中している。

規模のやや大きな新築中の Villa (住宅) を調査したが、日本の住宅と異なり驚くほど豪華で広く、冷房器のファンコイル・ユニット数が 22 で電力容量も 114kw と大きい。冷房

負荷容量も 10—20RT と日本の小規模業務用ビルのクラスであり、ガス冷房の対象として十分検討出来る。尚、居住中の中規模 Villa (床面積約 320 m<sup>2</sup>) を調査したが、最夏季には 1ヶ月当たり 10,000 kwh を超える電力使用量になっていた。

## ② 天然ガス供給状況

ガス冷房システム導入を検討する上での基本条件となる天然ガス供給の現状及び計画について石油ガス省 (Ministry of Oil and Gas) で調査したところ、次のことが判明した。

Muscat から Seeb へかけての capital area には現在のところ、建物施設に対する天然ガス供給のネットワーク(即ち、都市ガス供給網)は存在せず、現時点では政府レベルでの公式な建設計画もない。

現状の天然ガスパイプライン (高圧 ; 75—19bar) は別図 Annex:5-2-c のごとく、井戸元の Yibal のガスプラントから主として火力発電所に供給するために敷設されている。生産量は 1996 年で約 73 億 m<sup>3</sup> でありこのうち約半分が井戸元の再圧入用及び燃料用に使用され、25 億 m<sup>3</sup> が発電所等の政府用ガスシステムとして利用されている。この天然ガスはメタンが約 85% で 8,700 kcal/ m<sup>3</sup> の熱量である。Yibal ガス田の推定埋蔵量は約 5,000 億 m<sup>3</sup> であり今後 20 年の需要の伸びを考慮すると不足してくるとして、オマーン中央部の Saih Rawl の大ガス田からの補給パイプラインを計画している。又このガス田からは Sur の LNG 輸出基地 (建設中) までのパイプラインも建設中である。尚、現在発電所等への天然ガス販売価格は 1.5 US\$/MMBTU (約 0.05\$=¥6.5/Nm<sup>3</sup> 位) である。参考に電力販売価格は 10-30 baissa/kwh であるので約 7.6 – 22.8 US\$/MMBTU 相当となり、熱量当たりで比較すると天然ガスの 10 倍の価格となっている。

この他の情報として、1993 年より英国 British Gas により Muscat 地域に都市ガスネットワーク構築のフェージビリティ・スタディが行われたが、採算性がないとの結論が出されている。Private Sector の Bridge Trading Co.によると、これまでの検討では考慮されていないガス冷房及び天然ガス自動車を含めた Investment Project として 2004 年までに 10 万軒の需要家を対象に調理用と空調用に天然ガス供給網を自己資金で建設する計画 (総額約 1 億ドル) を検討中とのことである。ガス冷房については日本からの技術協力にも期待しているとのことである。

### 5-2-3. ガス冷房導入の検討結果と課題

#### (1) ガス供給

現状、Muscat 地域への天然ガス供給ネットワークが存在せず、又明確な計画もない状態であるが、環境にやさしい天然ガスによる都市ガス供給がガス冷房を含めた都市エネルギー需

要を効果的に賄える優位性を持つという観点から、今回の DSM 技術としてのガス冷房導入検討にあたっては、「Muscat 地区に近未来に天然ガス供給網が構築される」という前提を置いて、特に導入効果が大きいと予想される病院とホテルについて設計検討を行うこととした。

今回調査対象建物のうち官庁群及び Royal Hospital は、Ghubrah 発電所に供給している 20 インチの高圧(19-25 Bar)ガスパイプラインに 1 km 未満の至近距離にある(地図 Annex: 5-2-b 参照)ことから、比較的早期に実現可能であるとの見通しの下に具体的設計及び採算性検討を行った。また、パイプラインのコストについては、石油ガス省は、高圧幹線パイプラインからの分岐ステーションの建設は管轄事項として予算を持つ考えを示し、そこから Royal Hospital までのパイプラインは Royal Hospital 側が受け持つべきとの考え方で検討を行った。

## (2) 導入すべき最適ガス冷房システムの設計検討結果及び提言

Royal Hospital については、

- ・地理的条件から天然ガスパイプライン敷設も比較的容易(このための投資コストもそれほどかからない: 約 62,000 RO) である
- ・大規模のエネルギー多消費型施設で冷房運転も常時稼働の施設であり、天然ガスによるコ・ジェネレーション・システムの適用によって大幅な省エネルギーと経済効果が期待できる、
- ・病院側の技術担当ディレクター等スタッフが今回の JICA 調査検討にデータ提供等、全面協力をしてくれたこと

によって、コ・ジェネレーション・システムを考慮したガス冷房システムの導入が最適であると考え、モデルケースとして重点的に設計検討及び経済性評価を行った。

## (3) Royal Hospital へのガス冷房システム導入設計検討の結果

### ・ Royal Hospital のエネルギー設備の分析

Royal Hospital は地図に記してある場所の大きな敷地に床面積 55,692 m<sup>2</sup> を有する 4 階建ての大きな総合病院で、現在の冷房設備は病院棟で 270RT x 12 基 = 3,240RT の電動ターボ式冷水機システムならびに近接の 600 部屋の職員住宅棟群で合計 1,580RT の分散型小型冷房システムを持っている。病院棟では夏場の最盛期には冷水機 12 基を 480amps でフルに稼働させており、冬場は 5 基を 250amps で稼働させている。冷水は送り出し 7℃ で戻りが 12℃ の冷水圧制御による定流量及び変流量ミックス方式を採っているため必ずしもデマンドに対応していないので戻り温度検知によるシステムに改善したいということをも病院の設備担当技術者が指摘していた。メンテナンスは英国系企業 Winpey が行っている。



フル稼働時の単位冷房負荷を計算すると約 150 Kcal / m<sup>2</sup>hr であり、日本の平均より 5 割以上大きい。病院の電力消費量は夏場の最盛期で 1 ヶ月約 390 万 kWh、冬場で 170 万 kWh で、夏場の場合その内約 280 万 kWh が冷房に使用されている。夏場の電気料金支払い額は月額約 12 万 RO (日本円で約 3,800 万円) (平均単価; 0.03RO / kWh) と相当な高額である。

Royal Hospital では、冷房及び照明用を中心とする電力エネルギー消費の他、ラウンダリー、消毒用にディーゼル・オイルを原料とするスチーム・ボイラー 6.3t x 2 基によって蒸気を製造し消費している。ディーゼル・オイルはこの他焼却炉にも使用しており、併せて 3 ヶ月当たり 145.6 kl を消費しておりこの病院の電気エネルギー使用量の約 1 割に相当する。この燃料費は 1 ヶ月当たり約 4,000 RO (単価; 0.08164RO / ltr) となっている。LPG は主として病院の調理場で使用されており、3 ヶ月当たり 3,200 Gallon (12.1kl) の消費量で燃料費は 1 ヶ月当たり約 310 RO (単価; 0.292RO / Gallon) である。職員住宅棟は 3 ヶ月当たり 3,000 Gallon の消費である。

#### ・ Royal Hospital へのガス冷房システムの設計検討

Royal Hospital のエネルギー消費状況は前述した通りであるが、特徴としてエネルギー多消費型で、電力エネルギーの他、ディーゼル・オイルによる蒸気及び LPG 燃焼による熱エネルギーを使用している。又、夏季、冬季の電力の使用量には冷房の関係で季節的な相違があるがその他の熱エネルギー使用量には季節的に差はない。電力消費量の一日の時間的変動は夏季においてもあまりない。

このようなエネルギー消費の特徴を持つ施設建物の場合、省エネルギー及び経済的有利性の観点から見ればガス冷房が一番適しており、更にコ・ジェネレーションによるガス冷房システムを導入することによって一次エネルギー利用効率 70%程度の実現も期待できる。その他のシステム選択として、蒸気供給も含めたガスボイラーによる蒸気吸収式冷房システムならびに冷房だけを対象に全てを直接ガス焚きのガス冷房システムにする方式についても設計検討を行い、より少ない投資額での有効性も確認できた。この三つのシステム概略図は下図 5-2-7~9 のごとくである。

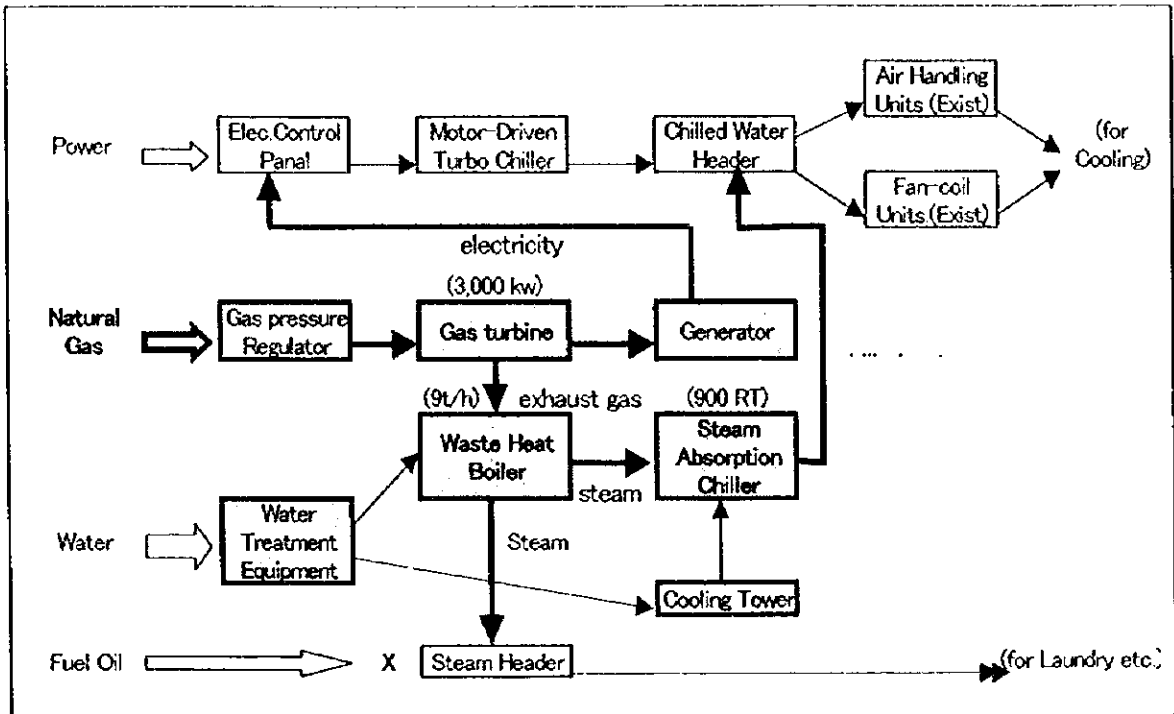


図 5-2-7 コ・ジェネレーションによるガス冷房システム (改造のケース)

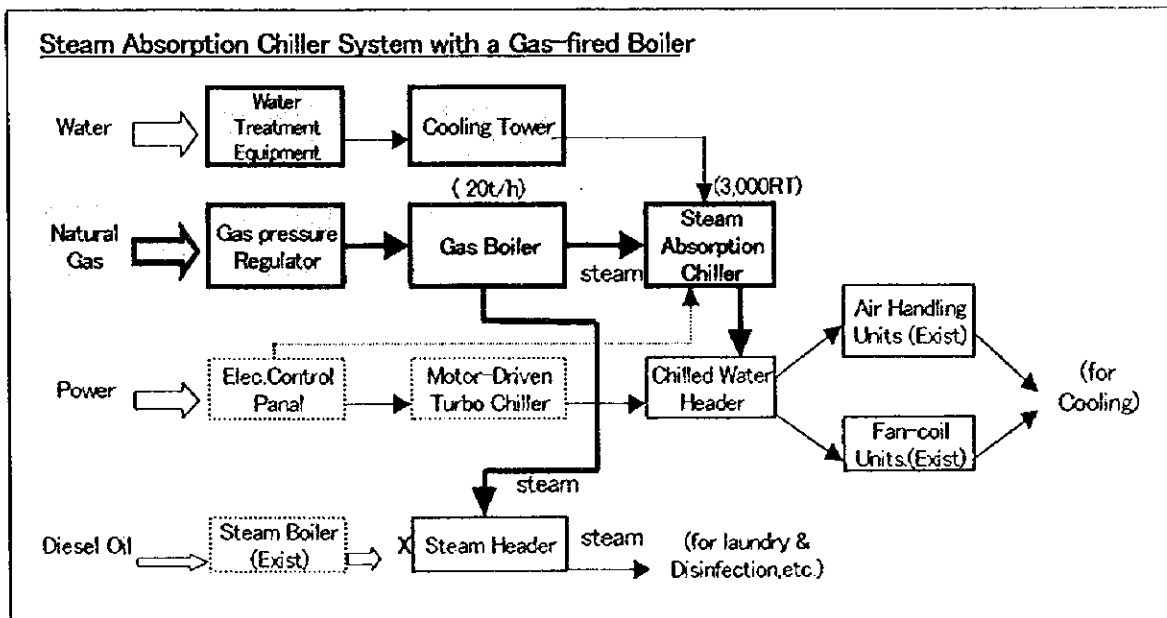


図 5-2-8 ガスボイラーと蒸気吸収式を用いたガス冷房システム (改造のケース)

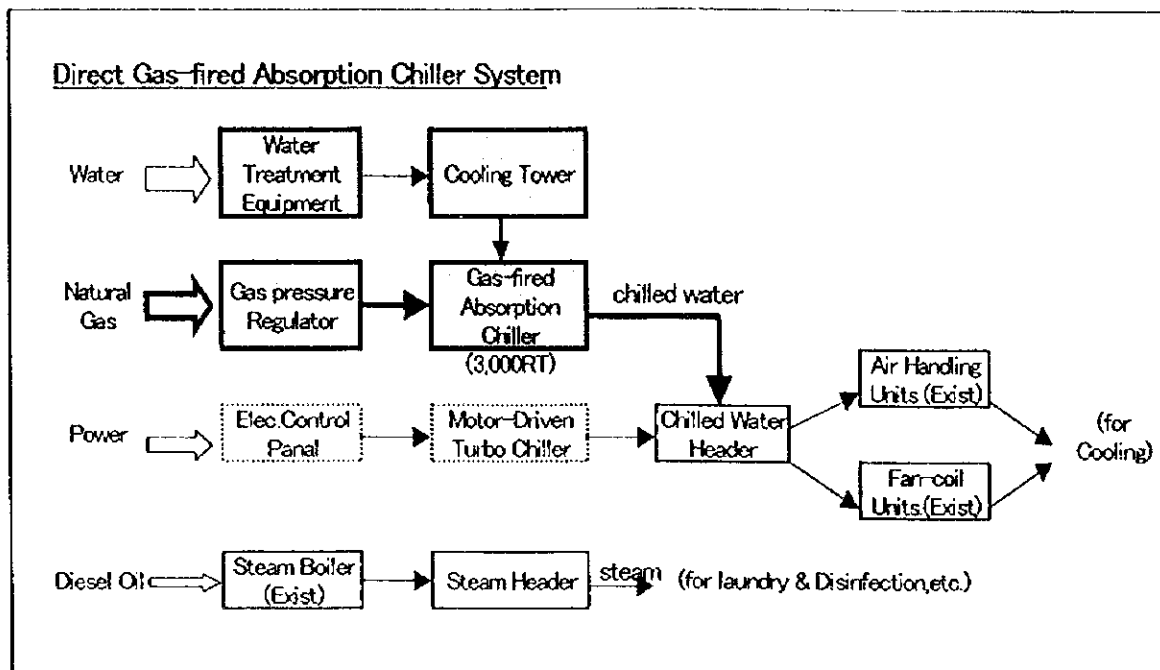


図 5-2-9 直接ガス焼き吸収式冷凍機によるガス冷房システム（改造のケース）

この三つのシステムを比較検討した結果、Royal Hospital のケースではコ・ジェネレーションによるガス冷房システムが次の点で最適であるとの結論に達した：

- ・比較検討の結果、表 5-2-7 に示すごとく、投資採算性が一番優れていること
- ・既存の電気式冷水機設備も有効利用できること
- ・ガスタービンの排熱を有効利用して蒸気吸収式冷水機及び病院使用の蒸気を供給することができること
- ・電力バックアップの非常用電源としても利用可能なこと（デュアル・オペラティブ）

上記の理由から、下表 5-2-5 のようにガスタービン（1,500 KW x 2）及び発電機、6t/h の排熱回収ボイラー、及び 900RT の蒸気吸収式冷水機を追加設置して、別図 Annex:5-2-d のような構成のコジェネレーションによる天然ガス利用のコ・ジェネレーション・システムを構成するのが最適と考える。

表 5-2-5 Basic Equipment/Facilities to be added for Recommended Co-generation system

Equipment	Unit	Spec./Capacity	Note
1. Gas Turbine	2	1,500kw/unit heat rate=3,400kcal/kwh	430 RO/kw with control system
2. Electric Generator	2	1,500kw/unit	
3. Waste Heat Boiler	3	3 t/h /unit	
4. Steam Absorption Chiller	1	900 RT	200 RO/RT
5. Cooling Tower for Chiller	1	Corresponding to 4.	
6. Steam Header	1		Included into 3.
7. Dedicated Gas Pipeline	1km	150mm φ	30 RO/m tap & regulator ;2000RO
8. Others			Additional piping etc.

このコ・ジェネレーションシステムを採用した場合の商用電力消費の削減量は、次のグラフ図 5-2-10 の濃い灰色部分で示してある。尚、このシステムは冷房・電力需要に応じた通年稼働を前提としている。システム設置にあたっては現行冷房システムを稼働しながら比較的容易に行えることも特徴である。

Effect of Utility Power Reduction by introducing Co-Generation System

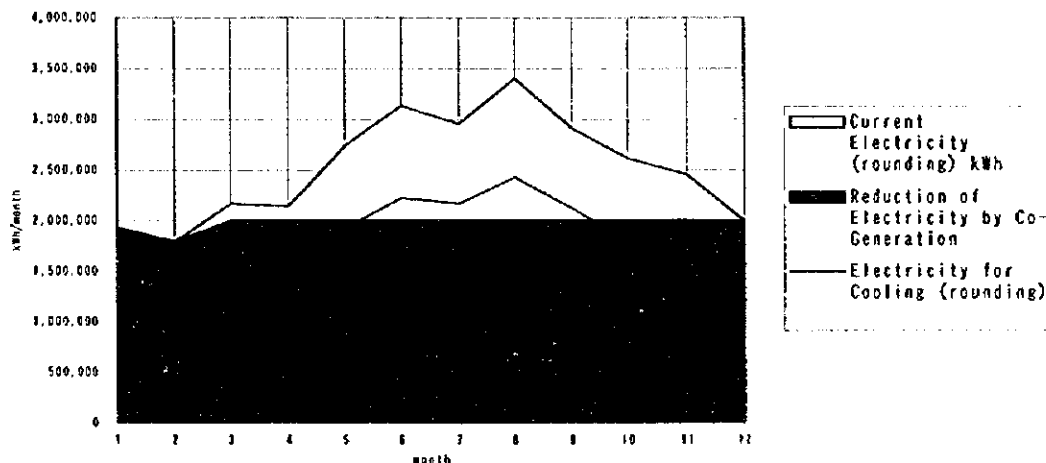


図 5-2-10 Power Reduction by Introducing Co-Generation system in Royal Hospital

①Royal Hospital 向け提案システムの経済性評価

このコ・ジェネレーション・システム構築に要する初期投資の推定概略コスト及び、このシステムの稼働により従来のランニングコストに比べて増減するコストは次表 5-2-6 に示す通りである。(注：高圧天然ガスパイプラインからの取り出しパイプラインの設置コス

トはオマーンのような地域の国際価格で算出してある。高圧 Regulator Station の建設も必要であるが、これは MOG が負担する) この場合の経済性評価の方法としては、初期投資額が従来のランニングコストからの減少分によって毎年どのように補填され得るかという計算によって回収期間を求めることになる。

15 年の期間での条件で NPV 法で算出した経済評価及び回収期間は、Annex 3-3-q に示してあるごとく、このプロジェクトは経済的に見ても有望で回収期間は約 4 年以内で可能と見られる。これは主として、電力料金の大幅削減効果によるものである。



次表 5-2-7 は、Royal Hospital に適用可能な三つのシステム方式の経済効果を比較したものである。

表 5-2-7 Cost Effectiveness by the type of Gas Cooling System for Royal Hospital Current Annual Energy Consumption and Cost at Royal Hospital

	Consumption	Cost
Utility Power	30 million kWh /year	907,000 RO /year
Diesel Oil	1,100 kl /year	90,000 RO /year

		Recommended			
		Co-Generation system	Steam Absorption Chiller system	Gas-fired Absorption Chiller system	Current Electric Cooling System
1	Main Equipment to be installed	Gas Turbine & Generator: 1,500KW x 2 Steam Abs. Chiller: 900RT	Gas Boiler: 20t/hr Steam Abs. Chiller: 3,000RT	Gas-fired Abs. Chiller: 3,000RT	
2	Additional Investment (RO)	1,860,000	1,212,000	1,174,000	0
3	Effect on Energy Saving	Best	Better	Good	
4	Effect on Environment	Biggest	Biggest	Bigger	
5	Effect on: Reducing Power Station Capacity (RO)	(3,000kw) -180,000	(2,500kw) 400,000	(2,480kw) 397,000	
6	Increment of Power Consumption(RO/y)	-720,000	-568,080	-568,080	[907,154]
7	Increment of NG Consumption (RO/y)	+146,880	+167,400	+126,960	0
8	Increment of Water Consumption (RO/y)	+70,560	+169,320	+169,320	[695]
9	Increment of Fuel Oil Consumption (RO/y)	-48,000	-48,000	0	[90,982]
10	Additional Maintenance Cost(RO/y)	+55,800	+36,000	+35,220	0
11	Increment of Total Running Cost (RO/y)	-494,760	-243,360	-236,580	[1,000,000]
12	NPV	+2,374,888	+871,035	+851,001	
13	Pay Back Period	4 years	5 years	5 years	

\* Note; This column shows the supposed amount of investment, after deducting the construction cost corresponding to the capacity reduction at the power station(160RO/kw).

#### (4) Al Falaj Hotel へのガス冷房導入の検討

ホテル Al Falaj Hotel 及び複合商業施設 Al Araini Complex については、残念ながら既存

の天然ガスパイプラインから遠い位置にあるため、ガス冷房導入の実現は都市ガス供給ネットワークが構築された後となる。

・ Al Falaj Hotel のエネルギー設備の分析

Al Falaj Hotel は（表 5-2-4）のように相当の規模の冷房負荷容量を持っており、又冷房稼働時間も病院と同様長い。又洗濯、シャワー、調理用の熱エネルギーも消費している。このようにエネルギー消費の特徴は病院の場合と酷似している。

前述のごとく、Al Falaj Hotel の現存の冷房設備の容量は 740 RT もあるが、前掲の電力消費量グラフの消費量から計算すると、真夏でも稼働率が低く 65%となっている（おそらくイベント・ホールの臨時稼働も考慮して過剰に設計していたと思われる）。これから見ると真夏における平均稼働からすれば、約 375kw 即ち 300RT の能力で殆ど対応できると見られる。又年平均の稼働率は 51%である。

・ Al Falaj Hotel へのガス冷房システム導入の設計検討

300RT とはいえ、ピーク時のガス冷房による電力削減効果も大きいと見られるため、Royal Hospital と同様なコ・ジェネレーションをはじめとするガス冷房システムの導入が期待される。但し Al Falaj Hotel の場合は Royal Hospital よりシステム規模が小さいこと及び設備設置の敷地等その他の条件の相違から、推奨システムとしてはガスボイラーによる蒸気吸収式冷房システム或いはガス・ヒートポンプ冷房システム (GHP)が適切と考えられ、設計検討を行った。

ガスボイラーによる蒸気吸収式冷房システムの概略図は、Royal Hospital の場合と同じである。ガス・ヒートポンプ冷房システム (GHP) の場合は 4.5RT のパッケージ型の空冷式 GHP を 24 台使用することで設計計算を行った。GHP の場合は冷房だけであり、蒸気の供給はない。蒸気吸収式冷房システムの場合の増設機器は、次表 5-2-8 の通り。

表 5-2-8 Equipment to be installed for Gas Cooling System at Al Falaj Hotel

Equipment	Unit	Spec./Capacity	Note
1. Gas Boiler	1	3 t/h /unit	
2. Steam Absorption Chiller	1	300 RT	200 RO/RT
3. Cooling Tower for Chiller	1	Corresponding to 2.	
4. Steam Header	1		Included into 1.
5. Dedicated Gas Pipeline	0.5km	50mm φ	20 RO/m tap & regulator :2000RO
6. Others			Additional piping etc.

この場合、既存のディーゼル油の 1.4t ボイラーは不要となる。既存のボイラーは老朽化しており、新しく LPG ガスボイラーにする計画である。天然ガスに切り替える時はノズルの交換をすればよい。提案システム構成は Annex:5-2-e に示したとおりである。



ガスボイラーによる蒸気吸収式冷房システムを採用した場合の商用電力消費の削減量は、次のグラフ図 5-2-11 の濃い灰色部分で示してある。尚、このシステムは、冷房・蒸気の必要量に応じ通年稼働を前提としている。システム設置にあたっては、現行冷房システムを稼働しながら比較的容易に行えることも特徴である。

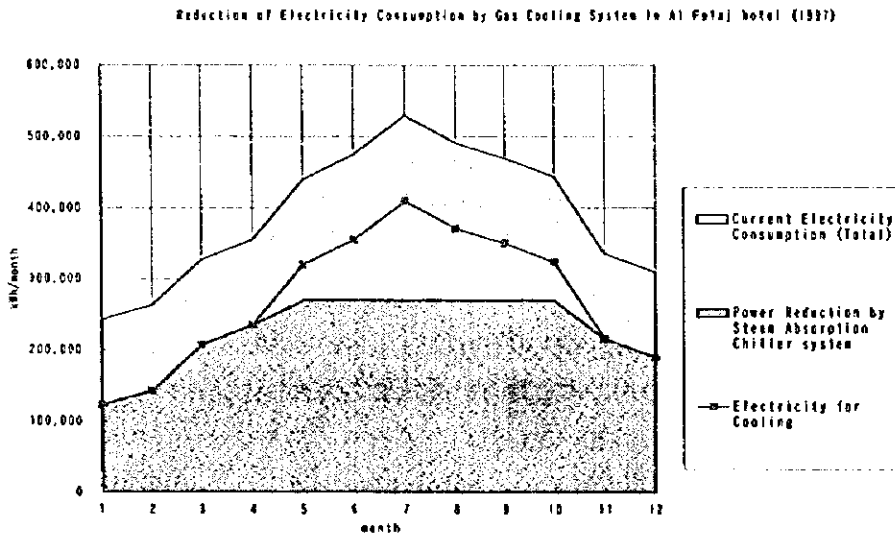


図 5-2-11 Power reduction by Introducing Gas Steam Absorption Chiller at Al Falaj Hotel

・ Al Falaj Hotel 向け提案システムの経済性評価

このガスボイラーによる蒸気吸収式冷房システム構築に要する初期投資の推定概略コストは、表 5-2-9 の 1 に示す通りであり、このシステムの稼働により従来のランニングコストに比べて増減するコストは同表の 2 に示す通りである（ガス供給は 500m 以内に都市ガスが敷設された場合を前提としている）。この場合の経済性評価の方法は、Royal Hospital の場合と同様である。

15 年の期間での条件で NPV 法で算出した経済評価及び回収期間は、Annex 3-3-r に示してあるごとく、このプロジェクトは経済的に見ても有望で回収期間は約 4 年以内で可能と見られる。これは主として、旧式の効率の悪い冷房設備を使用しており、電力料金及びディーゼル油費用の大幅な低下が見込めることによるものである。

表 5-2-9 (Case-Study(AF1)); Gas Steam Absorption Chiller

**Rough Cost Estimation on the Recommended Gas Cooling System for Al Falaj Hotel**

**Investment**

Construction of the NG supply pipeline to A.F.H.

(Assuming 0.5 km of 100mm diameter pipeline from the tapping point to A.F.H.)

500m x @20RO/m = 10,000 RO

Tapping & Regulator ; 2,000 RO

Total ; 12,000 RO

Equipment ; Gas Boiler (new)

3 t/h x @9,000 RO/t = 27,000 RO

Equipment ; Steam Absorption Chillers (250RT)

300RT x @300 RO/RT = 90,000 RO

Civil Engineering & Piping ; 20% of above total

129,000 RO x 0.2 = 25,800 RO

Reinforcement of water supply facilities, if needed. : (10,000 RO)

All Total = 164,800 RO

(0.434 million \$ ; ¥54 million)

**Running Cost increased and reduced in comparison with current system**

NG consumption (+)

205 m<sup>3</sup> /h x 0.0197 RO/ m<sup>3</sup> = 4.0 RO/h

4.0 RO/h x 24 x 30d x 51%(annual average Operation Load)= 1,470 RO/month

Water consumed for cooling tower (+)

3 t/h x 24 x 30 x 51% x 0.8 RO/t ( 0.003 RO/Gallon) = 880 RO/month

Utility Electric Power consumption reduced (-)

[( current average 270,000 kWh/month) x 0.0204 RO/kWh = 5,510 RO/month]

Reduce by Gas Steam Absorption chiller system;

(270,000 - 48kw\*24\*30\*51%) kWh/month x 0.0204 RO/kWh = 5,150 RO/month

(Average for A/C - need for Abs. chillers)

Diesel Oil ; Current 12.4 kl/month x @ 0.0904RO/ltr = 1,120 RO/month

Maintenance Cost (+)

3 % of Investment = 164,800RO x 0.03 = 4,940 RO/year = 410 RO /month

Total reduced ; 5,150 - 1,470 - 880 + 1,120 - 410 = 3,510 RO /month

**Cost Recovery**

Details of Financial Projection are shown in "Cash Flow Analysis".



していない。近隣に同様の商業施設が6乃至7施設あることを考慮し Al Araimi の冷房負荷容量の6倍即ち  $560\text{RT} \times 6 = 3,360\text{RT}$  として限定地域冷房方式の適用が可能かを検討してみた。しかしながら、これらの複合商業施設は病院やホテルとは異なる特徴及び条件を持っており：

- ・他の熱需要が殆ど無いこと
- ・冷房稼働時間も営業時間に限られること
- ・ガス供給のための距離が長いこと
- ・冷房設備から各 Complex への屋外冷水配管が必要で断熱も含めたコストが余分にかかること
- ・稼働時間が短く廃熱利用もできないことからランニングコストの削減が期待できないため、経済性評価を行ってもいい結果が期待できそうもない。

従って、適用条件に欠けると判断し、地域冷房システムの検討を打ち切った。同様の理由で既設の単独施設へのガス冷房導入も経済的には条件に欠けると判断した。しかしながら、今後、比較的大規模な複合商業施設が新設される場合には、商店やレストラン等への空調や熱供給などを含めた天然ガス利用による地域冷房システムの適用可能性を検討する価値はある。

#### (6) Ministry of Civil Services のガス冷房システム導入の検討

MCS 及び MEW 等の官庁建物については、地理的条件が Ghubrah 発電所から 1km 以内という至近距離でガスパイプライン敷設は容易でありガス冷房導入検討には適しているが、これらの建物の特徴は：

- ・冷房稼働時間が比較的短いことから、投資回収期間が長くなる。
- ・冷房以外の熱需要が全く無い

などの理由からガス冷房へ改造することは経済的とは言えないが、新規に建物を建設する場合や改築する場合には、電気冷房システムと比較して初期投資額の回収が容易であると見られるため、ガス冷房導入が有望となり検討対象となる。

#### (7) 大中規模住宅 Villa へのガス冷房適用可能性の検討

大中規模の住宅 Villa については、調査した範囲では冷房負荷容量が 10—30RT という、日本の戸建て住宅の 10 倍もの冷房負荷の建物である。こうした住宅の Villa 地区があり開発建設中であるということを考慮し、ピーク電力削減効果も大きいと予想されること、ならびにそのような規模のガス冷房機器が既に日本で開発され適用されていることから、ガス冷房導入の検討から外すことは適切ではないと思われる。従ってこれらについては都市ガス網が構築される将来において、平均モデル住宅を設定しガス冷房システムの導入検討を進めることも意義のあることである。なお、このクラスの冷房負荷であれば日本の中小規模のビルに普及が進んでいる GHP 方式、或いは最近開発されたパッケージ型の空冷

式ガス冷房器の適用が推奨される。

ガス冷房導入検討以前の問題として、このような大規模住宅の建築上の更なる省エネルギー策、例えば建物断熱及び日射遮蔽を進める必要もある。これが建物の冷房熱負荷を緩和し省エネルギーに繋がる。ちなみに(表 5-2-4)にあるように単位冷房負荷が 150・200Kcal / m<sup>2</sup>hr で きわめて高く、一人当たりの冷房面積も極めて大きい。これも省エネルギーのための検討課題である。

### ガス冷房導入推進のための提言

オマーンにおいては天然ガス資源が豊富に存在している。しかしながら、Muscat 地区には現時点で天然ガス供給網が無いため、ガス冷房システム導入の実現が極めて困難な状態にある。

表 5-2-11 Comparison of Pollutant Emission among Fossil Fuels  
(Coal=100)

	Natural Gas	Petroleum	Coal
SOx	0	68	100
NOx	29	71	100
CO <sub>2</sub>	57	83	100

(IEA "Natural Gas Prospect to 2010" 1986)

天然ガスは多くの化石燃料に比べて高効率燃焼機器に利用しやすく、また燃焼時の SOx、NOx、CO<sub>2</sub> の排出も少ない環境上の利点があるため、省エネルギー及び環境保護に大きく貢献するものである。従って、民生面での利便性向上と経済性の観点からも、天然ガス供給網を建設して各種用途に利用できるよう推進することが切望される。これがオマーンにおけるガス冷房普及の基本条件である。このような観点に立って、関係各省庁間で天然ガス供給網建設のための総合調整を行うことを提言する。

今回具体的に提案している Royal Hospital のコ・ジェネレーション・システムについては、既設導管網から近いためデモンストレーション・プラントとして開発することも可能である。これによりこの地域でのガス冷房普及の一里塚を築くことになる。そのため関係省庁間の合議で、資金手当てを含めた検討を行うことを提言する。さらに、次のステップとして、Muscat 地区で天然ガスをビル冷房や地域冷房を利用できそうな地区(新規開発計画地点を含む)から重点的に天然ガス供給網の建設を進めていく計画を作成することが必要である。

### 5-3. 氷蓄熱冷房システム

#### 5-3-1. 氷蓄熱冷房システムの基本概念

##### (1) 氷蓄熱冷房システムの特徴

氷蓄熱システムは、電力需要の平準化対策の一つとして、特別に安価に設定されたオフピーク電力料金(深夜電力)を利用して、チラー(冷凍機)により蓄熱槽に氷を作り、電力需要(冷房)のピーク時に、氷の潜熱(latent heat)および水の顕熱(sensible heat)を利用して冷房を行う技術である。この特徴は下記の通りである。

- ・供給者側としては、ピーク需要が低減され負荷平準化されるので、新規設備(発電、配電設備)の建設を抑制出来る
- ・需要家側としては、安価な電気料金により設備投資の回収が可能になるばかりでなく、冷房容量と受電設備の容量を低減出来るので、設備投資が抑制出来る。

参考までに、動作原理図の一例を図 5-3-2 に示す。

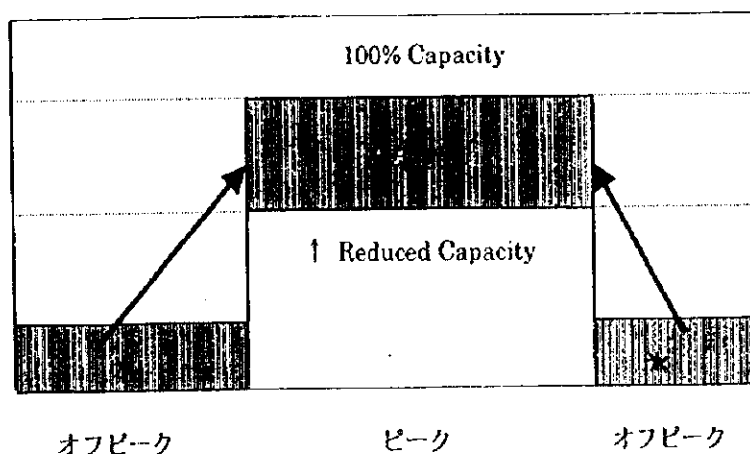


図 5-3-1 氷蓄熱冷房システムの概念図

##### (2) 氷蓄熱システムと水蓄熱システムの比較

氷蓄熱システムの他に 7℃の水を蓄熱槽に作り、この水の顕熱を利用する水蓄熱システムがある。この方式の場合は、水の顕熱しか利用出来ないため、氷蓄熱システムよりはるかに大きな蓄熱槽が必要になる。このため、最近は氷製造技術の進歩もあり、氷蓄熱システムを採用する例が多くなった。参考までに、製氷率を 50%とした場合の水 1m<sup>3</sup> 当たりの蓄熱量と蓄熱槽の比較を表 5-3-1 に示すが、氷蓄熱システムの蓄熱槽は、水蓄熱システムの約 15%、すなわち、すなわち 7 分の 1 に減少する。この水蓄熱システムの特徴の一つは、建物の地下にある防火水槽を蓄熱槽として利用できることである。

### 5-3. 氷蓄熱冷房システム

#### 5-3-1. 氷蓄熱冷房システムの基本概念

##### (1) 氷蓄熱冷房システムの特徴

氷蓄熱システムは、電力需要の平準化対策の一つとして、特別に安価に設定されたオフピーク電力日金(深夜電力)を利用して、チラー(冷凍機)により蓄熱槽に氷を作り、電力需要(冷房)のピーク時に、氷の潜熱(latent heat)および氷の顕熱(sensible heat)を利用して冷房を行う技術である。この特徴は下記の通りである

- ・供給者側としては、ピーク需要が低減され負荷平準化されるので、新規発電発電、配電設備)の建設を抑制出来る
- ・需要家側としては、安価な電気日金により設備投資の負担が可能になるほか、冷房容量と受電設備の容量を低減出来るので、設備投資が抑制出来る

参考までに、動作原理図の一例を図5-3-2に示す。

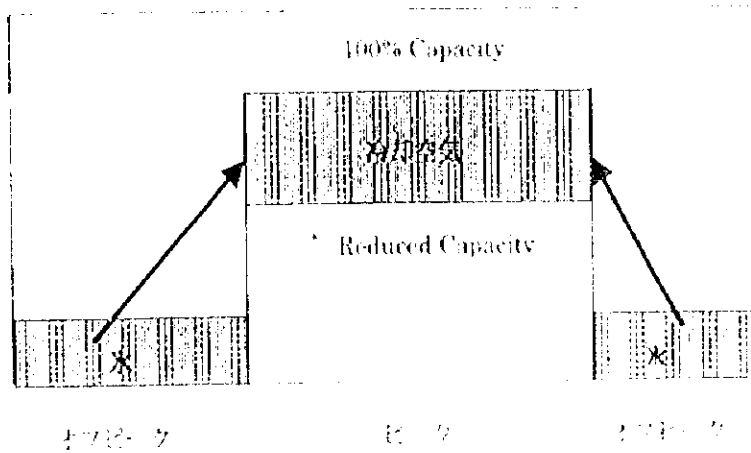
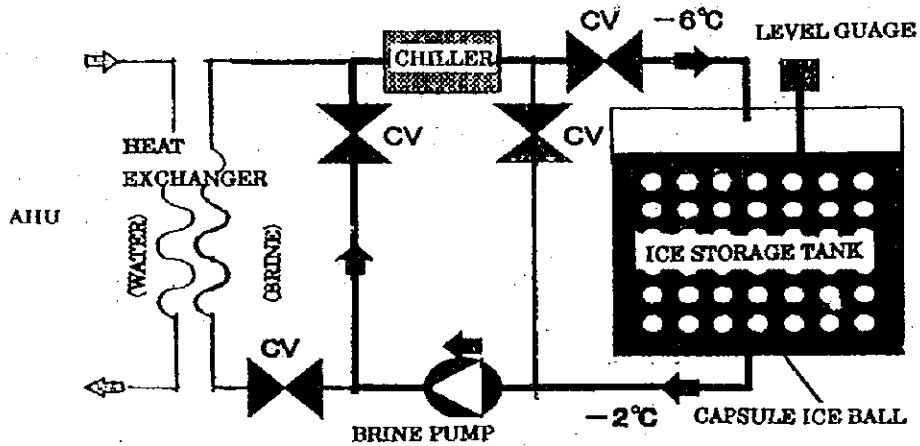


図5-3-1 氷蓄熱冷房システムの概念図

##### (2) 氷蓄熱システムと水蓄熱システムの比較

氷蓄熱システムの他に70℃の水を蓄熱槽に作り、この水の顕熱を利用する水蓄熱システムもある。この方式の場合、氷の顕熱しか利用出来ないのに、氷蓄熱システムよりも大きな蓄熱槽が必要になる。このため、最近では氷製造技術の進歩もあり、氷蓄熱システムを採用する例が多くなった。参考までに、製氷率を50%とした場合の水1m<sup>3</sup>あたりの蓄熱量(蓄熱槽)の比較を表5-3-1に示すが、氷蓄熱システムの蓄熱槽は、水蓄熱システムの約15%、すなわち、すなわち7分の1に減少する。この氷蓄熱システムの特徴の一つは、建物内に既存にある防火水槽を蓄熱槽として利用できることである。

### ICE STORAGE OPERATION



### THERMAL DISCHARGE OPERATION

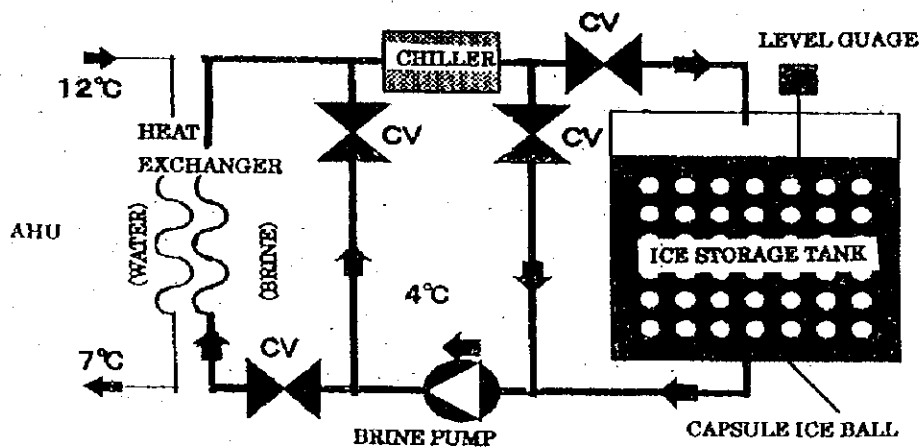


図 5-3-2 氷蓄熱冷房システムの動作概念図

表 5-3-1 氷蓄熱システムと水蓄熱システムにおける蓄熱量と蓄熱槽の比較

	水の顕熱		氷の潜熱 (Mcal/m <sup>3</sup> ) *	蓄熱量合計 (Mcal/m <sup>3</sup> )	蓄熱槽の比率 (%)
	水の利用温度 (°C)	利用熱量 (Mcal/m <sup>3</sup> )			
氷蓄熱システム	0-15	15	40	55	14.5
水蓄熱システム	7-15	8	0	8	100

: 製氷率 50%の場合



### (3)通常冷房システムと氷蓄熱冷房システムの運転モードの比較

通常冷房システムと氷蓄熱冷房システムの運転モードの比較を図 5-3-3 に示す。

通常冷房システムの場合には、冷房負荷に応じチラーの運転台数などを制御し、6℃程度の冷水を負荷側に供給するだけの単純な運転モードであるが、氷蓄熱冷房システムの場合には、次の幾つかの運転モードがある。

#### 氷蓄熱運転モード

オフピーク時の電力を利用して蓄熱槽に氷を貯蔵するための運転モード

#### 氷蓄熱放熱運転モード

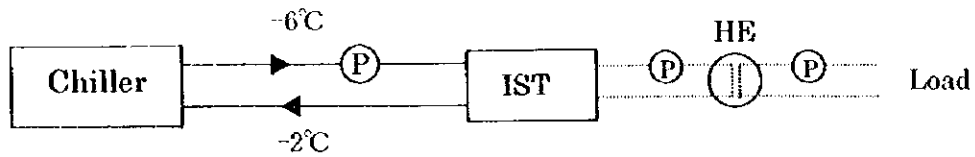
オフピーク時に氷として蓄熱していたエネルギーを、ピーク時に冷水の形で放熱することにより、ピーク時のチラーの運転を減少させ、ピーク時の電力需要を低減させることが出来る。

#### 追掛け（フォローアップ）運転モード

ピーク冷房負荷時に氷放熱運転だけでは冷房容量が不足する場合は、氷蓄熱運転に加えてチラーも運転し、この不足分の補充運転が可能である。

この他にも、氷蓄熱放熱に関係なく、通常のチラーとしても運転が可能である。

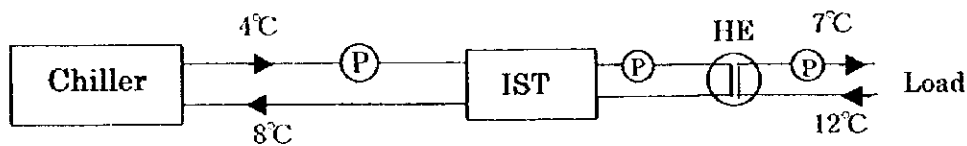
このように、氷蓄熱冷房システムは、負荷の状況や運転時間などに応じて、各種の運転方式が考えられ、またこれが氷蓄熱冷房システムの特色でもある。



(a) Ice Storage Operation



(b) Ice Discharge Operation

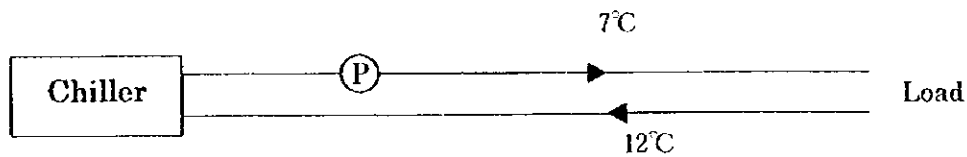


(c) Follow-up Operation (Chiller plus Ice Discharge Operation)

### 1. Concept for Operation of Thermal Storage System

Note:

The temperatures mentioned above will be fixed by actual designs.



### 2. Concept for Operation of Conventional A/C System

図 5-3-3 水蓄熱システムと通常冷房システムの運転方式の比較

5-3-2. 氷蓄熱システム導入にあたっての調査

(1) Muscat の夏季の最高気温と湿度

1996 年における月平均気温・湿度、各月の最高・最低気温・湿度および 1996 年の最高気温時（6月5日）の外気温・湿度は、添付表 5-2-a "General Weather Conditions at Muscat in Oman"の通りであり、1996 年の最高温度は 46.9℃、また最低温度は 34.5℃である。

(2) 電力負荷の変動

Muscat 系統の 1997 年における最高負荷であった 1997 年 8 月 2 日の負荷変動を表 5-3-2 に示す。すなわち、電力負荷の変動の特徴として、次の点があげられる。

ピークは、午後と深夜に 2 回発生する

オフピークも同様に 2 回発生する

ピークとオフピークの比率は、67.5%である

表 5-3-2 負荷変動 (1997 年 8 月 2 日)

Unit: MW

時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
電力	964	924	912	892	841	738	730	763	803	819	836	888

時間	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
電力	961	1042	1080	1024	883	782	801	893	976	1039	1058	1037

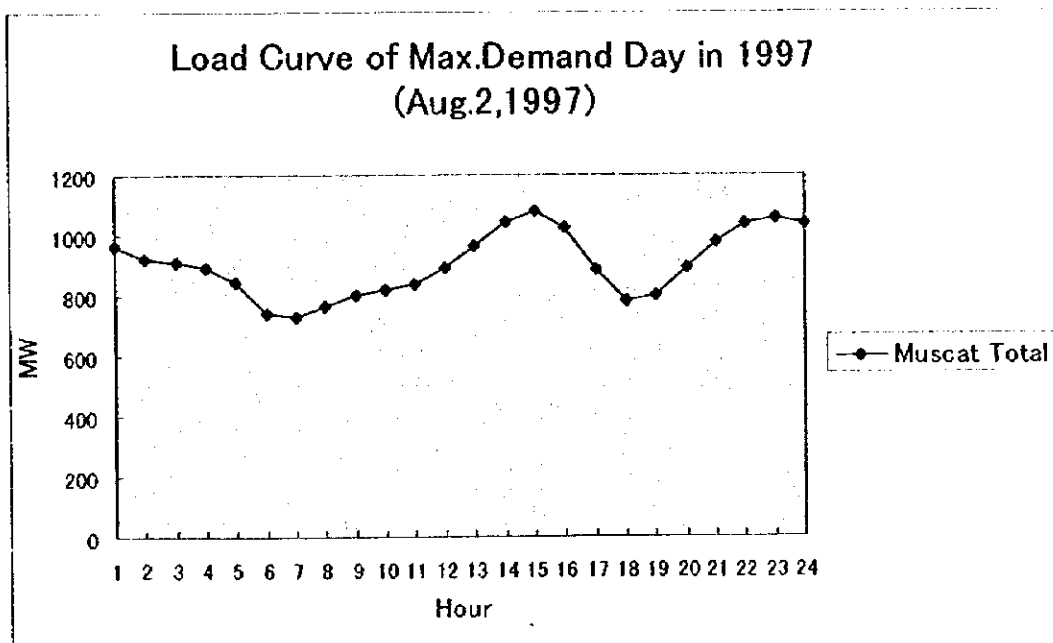


図 5-3-4 Muscat 系統の負荷曲線 (1997 年 8 月 2 日)

(3)空調運転時間とピーク、オフピークの関係

今回調査した Royal Hospital, MCS (Ministry of Civil Services)、MEW(Ministry of Electricity and Water)、Al Fajaj Hotel および Al Araimi Complex における夏季における空調設備の運転状況は、表 5-3-3 の通りである。

この表に (2) 項「電力負荷の変動」で述べたピークとオフピークの時間帯を追記すれば、空調運転との関係がより明確になる。

表 5-3-3 空調運転時間とピーク、オフピークの時間帯

X : 空調運転時間を示す

○ : 1,000MW 以上をピーク需要とする

● : 850MW 以下をオフピーク需要とする

時間	Royal Hospital	MCS	MEW	Al Falaj Hotel	Al Araimi Complex	個人住宅	ピークとオフピーク時間
1	X			X		X	
2	X			X		X	
3	X			X		X	
4	X			X		X	
5	X	X		X		X	●
6	X	X		X		X	●
7	X	X	X	X	7:30X	X	●
8	X	X	X	X	X	X	●
9	X	X	X	X	X	X	●
10	X	X	X	X	X	X	●
11	X	X	X	X	X	X	●
12	X	X	X	X	X	X	
13	X	X	X	X		X	
14	X	X	X	X		X	○
15	X	X	X	X		X	○
16	X	X		X	X	X	○
17	X	X		X	X	X	
18	X	X		X	X	X	●
19	X	X		X	X	X	●
20	X	X		X	X	X	
21	X			X	X	X	
22	X			X		X	○
23	X			X		X	○
24	X			X		X	○

各需要家における空調の運転時間と夏季のピーク電力が発生する時間帯の関連は次の通りである。

### **Royal Hospital**

24 時間運転であり、午後および深夜のピークに関係している。

### **MCS**

午前 6 時より午後 9 時まで運転している。したがって、深夜のピークには関係ないが、昼間のピークには関係している。

### **MEW**

運転時間が 15 時に終了するので、昼間のピーク需要にそれほど影響を与えない。

### **Al Fajaj Hotel**

24 時間運転であり、午後および深夜のピークに関係している。

### **Al Araimi Complex**

営業時間に合わせて朝 7 時半より 13 時まで、また午後は 16 時より 22 時となっている。したがって、午後のピークに若干関係するが深夜のピークには無関係である。

### **個人住宅**

24 時間運転であり、午後および深夜のピークに関係している。

## **(4) 1997 年における各月の電力需要**

電力料金の基本になるメータの検針日によって当月の使用量に差がでるが、MCS、MEW、Al Fajaj Hotel、Royal Hospital の 1997 年の電力消費量と比率は次の通りである。

表 5-3-4 1997 年における各月毎の電力消費量

Unit: kWh

	Royal Hospital		MCS		MEW		Al Fajaj Hotel	
	kWH	%	kWH	%	kWH	%	kWH	%
Jan.	1,706,530	44	89,850	43	65,490	22	243,140	46
Feb.	1,686,290	44	99,870	47	101,740	34	263,240	50
Mar.	1,876,830	49	152,200	72	106,090	36	327,450	62
Apr.	2,650,660	69	103,450	49	121,720	41	355,390	67
May	2,411,810	63	150,920	72	205,310	69	439,950	83
June	2,834,080	74	210,750	100	296,360	100	474,760	90
July	3,852,580	100	165,900	79	228,710	77	529,410	100
Aug.	3,079,290	80	155,560	74	216,160	73	491,180	93
Sep.	2,955,300	77	174,010	82	218,420	74	470,100	89
Oct.	2,746,780	71			*	*	444,120	84
Nov.	2,273,900	59	116,850	55	291,730	98	335,780	63
Dec.	2,164,180	56			108,650	37	309,800	59
合計	30,238,236				1,960,380		4,684,320	

注：(1) 最大電力消費量の月を 100%とした。(2) \* : MEW の 10 月分は 11 月に含まれる

#### (5) 日間負荷電流の変化

オフィスビルやホテルの冷房用電力の需要特性を知る参考として、Bank of Dhohar Al Omani Al Fransi, Muscat Securities Market および Al Falaj Hotel における日間の電流変化を表 5-3-5 に示す。電流測定点は、Bank of Dhohar Al Omani Al Fransi および Muscat Securities Market は受電変圧器の電流であるが、夜間は照明需要が殆どないにもかかわらず、深夜または早朝の最低電流が最大電流の 30% 以上もあり、この時間帯でも相当の冷房負荷需要があることを示している。また Al Falaj Hotel の場合は、冷房装置のチラーの電流であり、冷房負荷に類似の傾向を示す。

表 5-3-5 日間負荷電流の変化

対象物	Bank of Dohar Al Omani Al Fransi		Muscat Securities Market		Al Falaj Hotel (Old Block)			
測定日	1998-6-9		1998-6-9		1998-6-13			
測定箇所	受電電流		受電電流		チラー電流		外気温度	湿度
測定値	A	%	A	%	A	%	℃	%
Hour								
1					66	64	33	43
2	190	33	488	49	33	32	30	39
3					32	31	30	37
4	181	31	512	52	32	31	33	34
5					32	31	35	37
6	184	32	536	54	66	64	33	34
7	504	87	732	74	67	65	35	37
8	528	91	825	84	67	65	35	
9					100	97	36	
10	565	98	873	88	102	99	38	
11	577	100	979	99	102	99	39	43
12	560	97	987	100	70	68	41	42
13					102	99	40	48
14	427	74	918	93	102	99	40	50
15					103	100	40	47
16	533	92	821	83	102	99	38	49
17					102	99	37	50
18	521	90	668	68	102	99	37	
19			715	72	69	67	36	
20	357	62	691	70	73	71	35	28
21					67	65	35	36
22	190	33	516	52	69	67	35	45
23					70	68	35	57
24	190	33	348	35	68	66	35	52

注：最大電流時の値を 100%とした。

### 5-3-3. 外気温度と氷蓄熱の技術的課題

#### (1)チラー(冷凍機)

氷蓄熱運転の場合には、チラーから出るブライン温度は氷を作るために、マイナス 6℃程度に設定しなければならないので、氷蓄熱運転時における運転効率は低下し、電力消費量が増加する。したがって、氷蓄熱運転は出来るだけ外気温度の低い時間帯に行なうことが望ましい。表 5-3-2 に示すように 17 時から 20 時ごろまで、オフピークがあるがまだ外気温度が高いため、この時間帯にチラーを運転し氷蓄熱運転を行なうことはあまり推奨できない。

## (2)氷蓄熱槽

氷蓄熱槽は、外気温度が高くなるとそれに応じて外部への熱の発散が増加する。日本における実測では、損失熱量は約 5%と報告されているので、オマーンでは日本より厳重な熱絶縁処理が必要になり、氷蓄熱槽の価格も高くなる。

### 5-3-4. 蓄熱システムの運転方法と需要家に与えるインセンティブ

DSM を促すため、供給者側としては負荷平準化に貢献する運営を行った需要家に対してインセンティブを与え、その促進を図ることが出来る。このインセンティブの検討に先立ち、氷蓄熱システムの運転方法について検討する。

#### (1)氷蓄熱システムの運転方法

蓄熱した冷房エネルギーの放出には幾つかのパターンがある

##### ①負荷平準化運転（ Load Leveling Operation ）

図 5-3-5 に示すように、蓄熱した冷房エネルギーを冷房運転時間中に平均的に放出するものであり、全面的な負荷平準化が可能になる。また、チラー容量の縮小が可能になる。このため、供給者側と需要家の両方のメリットになる。

##### ②ピークカット運転（ Peak Cut Operation ）

図 5-3-6 に示すように、系統のピークを積極的に低減させるために、そのピークの時間帯に集中的に放出する方式である。チラー容量の縮小にはならないので、需要家側のメリットはないが、ピーク負荷低減に大きな効果がある。このため、供給者側は発電設備の建設が抑制できるため、供給者側のメリットは大きい。

##### ③両者の特徴を取り入れた運転方式

図 5-3-7 に示すように、氷蓄熱運転時間が十分にあり、かつ氷蓄熱槽が大きい場合には、両者の特徴を取り入れた運転が可能である。この場合には、ピークカットと同時に負荷平準化を行なうことが出来る。このため、供給者側と需要家の両方のメリットになる。



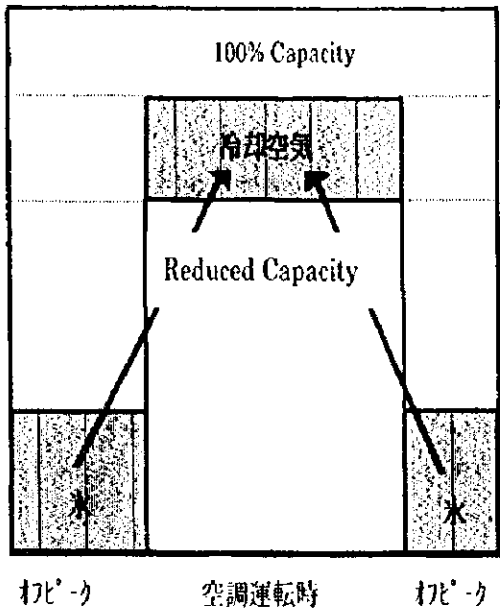


図 5-3-5 負荷平準化運転

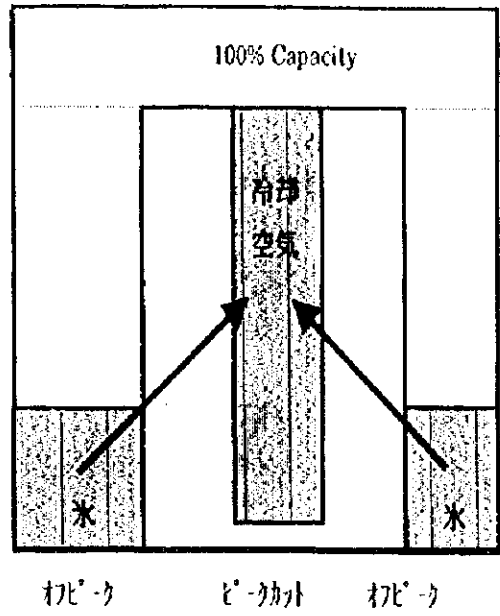


図 5-3-6 ピークカット運転

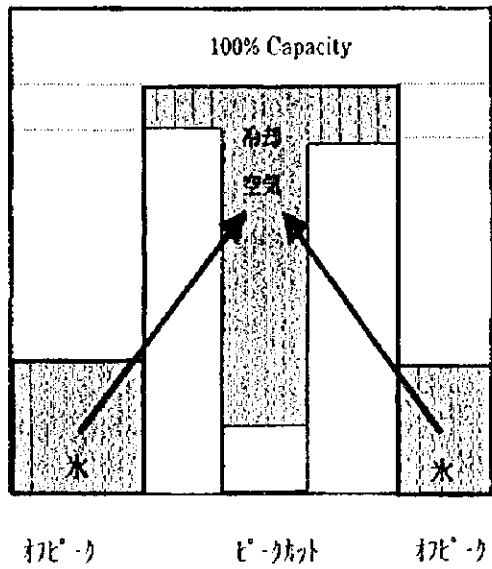
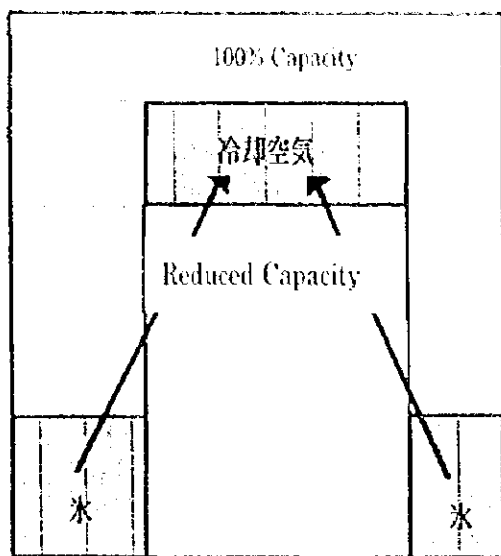


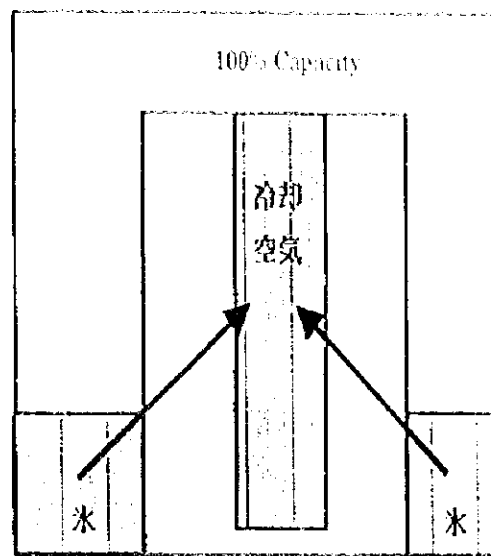
図 5-3-7 平準化運転とピークカット運転の併用

↓ Reduced Capacity



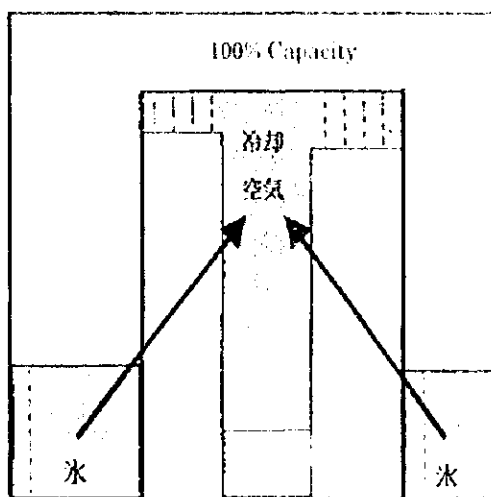
機<sup>①</sup> 空調運転時 機<sup>②</sup>

図5-3-5 負荷平準化運転



機<sup>①</sup> ピーク時 機<sup>②</sup>

図5-3-6 ピークカット運転



機<sup>①</sup> ピーク時 機<sup>②</sup>

図5-3-7 平準化運転とピークカット運転の併用

↓ Reduced Capacity

## (2) 需要家側に与えられるインセンティブ

氷蓄熱冷房システムは、図 5-3-3 に示すように、氷を貯蔵する蓄熱槽、ブライン溶液（例、Ethylene glycol 40% wt%）、ブラインが建屋側に行くことを防止するために設置する熱交換器、ブライン循環ポンプなどの付属設備および複雑になる制御装置などのため、通常冷房システムより高価になる。したがって、需要家側に適切なインセンティブを与えないと、氷蓄熱冷房システムの普及は期待できない。一般的には、次の方法が考えられる。

- ①ピーク電力が低減されれば、新しく発電設備の建設が抑制されるので、ピーク電力を低減した kW 分に相当する発電設備の建設費単価 (kW) に相当する投資金額を需要家に還元する。
- ②時間帯別料金 (TOU) の設定、特にオフピーク電力料金を大幅に安くする
- ③投資に対する金利負担や税金などの低減によるサポートシステム

このうち、①に述べるピーク電力低減効果については、特にピークカット運転を行なった場合のメリットは一方的に供給者側だけが恩恵を受ける。したがって、ピーク電力の低減を行なった需要家に対し、発電設備の建設に相当する投資金額を報奨金として還元する方式が適切と考える。また②に述べる時間帯別料金(TOU)の設定は、電力の平準化に効果が期待されるので推進することが望ましい。③に述べる金利負担などの奨励策は、管理が複雑になり、あまり有効ではないと判断する。したがって、今回は、①のピーク電力低減に対する需要家への報奨金による還元と②の TOU 料金制度の 2 ケースについて経済性の検討を行なう。

### 5-3-5. 各施設に対する具体案

#### (1) 提案に当たっての基本方針

今回は Royal Hospital, MCS, Al Falaj Hotel, Al Araiimi Complex および一般住宅について調査したが、各々の設備に特殊な条件があり、氷蓄熱冷房システムの提案も制約を受ける。すなわち、

- ・ 24 時間運転であり、氷蓄熱運転に工夫が必要である (Royal Hospital, Al Falaj Hotel)
- ・ 最近完成した設備であり、改造に伴う追加投資はさげたい (MCS)
- ・ 現有の設備が構造上、氷蓄熱方式に改造できないので、設備そのものを取り替える必要がある (Royal Hospital)
- ・ ピーク負荷にあまり関係ない運転方式である (MEW, Al Araiimi complex)
- ・ 24 時間運転であり、氷を作る時間がない (個人住宅)

したがって、この提案は調査した設備をモデルにして、新しく同様な目的と規模を持った設

備を氷蓄熱冷房システムで計画した場合を想定しての検討結果である。また、MEW は当初の段階では検討対象になっていたが、詳細な設計データのある MCS に変更した。

具体的な提案は下記の通りである。

#### **Royal Hospital**

270RT のチラーを 12 系列持っているが 1 系列は予備として計画されている。夏期における 12 系列運転の負荷電流をチェックすると、1 台当たり 485A であり、定格最大電流 564A の約 85% で運転されている。すなわち、設備そのものに余裕がある(約 2 台分)。したがって、この余裕分の 2 系列を氷蓄熱方式に転換する。

#### **MCS**

5 時より 21 時まで、空調運転を行なっているため、この運転時間外のオフピークを利用して、氷蓄熱運転を行なう。

#### **Al Falaj Hotel**

このホテルの空調設備は、旧設備 (2x160RT) と新設備 (2x210RT) の 2 系列があり、それぞれ単独系統で運転している。また、新旧設備を一つの系統にする改造は、設置場所が離れており困難である。このような単独系統の場合に、冷房負荷の関係上、1 系列 (2 台) のうちの 1 台を深夜に停止し、氷蓄熱運転を行なうことは負荷の関係上困難である場合が多いが、新設のホテルの場合には、一つのシステムとして設計されるので、1 台のチラーを氷蓄熱冷房方式として利用出来る可能性がある。したがって、旧設備の 1 系列 (2 台) の 1 台を氷蓄熱冷房システムに変更したとして計画する。

#### **Al Araimi Complex**

この空調の運転パターンは、7 時 30 分より 13 時までと、そして 16 時より 22 時までである。昼間の 1 時間だけピークにかかるが、ピーク発生の大きな要因になっておらず、氷蓄熱に投資する意味もない。今回は検討対象外とする。また、ドーム部分は集中空調方式であるが、個別商店は個別小型空調設備を採用している。

#### **個人住宅**

24 時間運転であり氷を作る時間がない。無理に氷を作ろうとすると、大容量のチラーを設置するか、氷専用のチラーを設置するかの方式になり、技術的にも経済的にも意味がない。今回の検討対象外とする。

### **(2)氷蓄熱冷房システムの仕様、運転モード、消費電力量**

上記の 3 施設に対する概要、運転モードなどについては、表 5-3-5 および表 5-3-14 を

参照していただきたい。経済性検討については、5-3-6項を参照して頂きたい。

### 5-3-6. コスト試算と経済性検討

#### (1)経済性検討の方法

次の2ケースについての経済性検討を行なう。

#### ケース1 ピークカット運転に伴う消費電力減少に対して報奨金を支給する場合

オフピーク時の4.5時間氷蓄熱運転を行ない、ピーク時の14時から17時までの3時間ピークカット運転を行なう。なお報奨金として、消費電力減少分(kW)に相当するkW当たりの発電所建設費相当分を支給する。ただし、料金制度は現状通りとする。

#### ケース2 負荷平準化運転を行ない、かつ氷蓄熱運転時の料金は時間帯料金制度(TOU)を活用する場合

オフピーク時に出来るだけ長時間にわたり氷蓄熱運転を行なう。そして、昼間のピーク時間帯に平均的に氷よりの放熱運転を行い、ピーク需要の減少と同時にチラー容量の低減をはかり、設備のコストダウンを目的とする。

#### (2)ケース1 ピークカット運転に伴う消費電力減少に対する報奨金支給の場合

##### ①各設備の概要

ピークカット運転を行なう場合の各設備の概要を表5-3-6に示す。

表5-3-6 各施設に対する比較

	Royal Hospital	MCS	Al Falaj Hotel
現有設備(チラー)	12 x 270 RT	3 x 150 RT	2 x 210 RT 2 x 160 RT
氷蓄熱に変換するチラー	2 x 270 RT	3 x 150 RT	1 x 160 RT
氷蓄熱槽の容量(m <sup>3</sup> )	120	100	35
氷蓄熱運転時間(時間)	4.5	4.5	4.5
氷蓄熱放出運転(時間)	3 (14時より17時)	3 (14時より17時)	3 (14時より17時)
ピークカットによる消費電力の減少(kW)	740	614	215
参考資料			
・運転モード	Annex 5-3-a		
・消費電力量	Annex 5-3-b		

##### ②経済性検討を行なう指標

経済性の検討は、コストとして氷蓄熱冷房システムを、また便益として通常冷房システム

の場合を比較する。すなわち、

コスト＝氷蓄熱冷房システムの投資金額＋保守費用＋氷を作るための消費電力＋氷放熱時のブライン循環ポンプの消費電力－ピーク電力を低減させた貢献に対する報奨金

便益＝通常冷房方式の投資金額＋保守費用＋空調運転時の消費電力

なお、投資金額の算出にあたっては、次の考えで算定した。

- ・熱源部分の価格比較であり、熱源以降の配管、エア－ハンドリングユニット、制御装置などは含まない。
- ・ピーク需要期間は100日間とした。
- ・機器の耐用期間は15年とする

### ③Royal Hospital（ケース1）

#### a.投資金額

機器および据付工事、試験調整の試算価格は下記の通りである。

表5-3-7 Royal Hospitalにおける価格比較

単位：RO

	氷蓄熱方式(A)	通常方式(B)	差額 (C) (A-B)
機器	260,000	167,000	93,000
チラー（冷凍機）			
蓄熱槽、ブライン			
ポンプ、熱交換器			
配管、絶縁材			
動力、制御盤			
据付工事、試験調整	50,000	27,000	23,000
合計	310,000	194,000	116,000

#### b.保守費用

氷蓄熱方式は、あまり保守の必要のない氷蓄熱槽などの部分もあるので、投資金額の0.8%、また通常方式は投資金額の1%とした。

#### c.電気料金

$$\begin{aligned}
 \text{コスト側の電気料金} &= \{ (\text{氷を作るための消費電力 (4.5h)} + \\
 &\quad \text{氷放熱時のブライン循環ポンプの消費電力 (3h)}) \} \times \\
 &\quad 100 \text{日} \times 0.03 \text{ RO/kWh} \\
 &= \{ 700\text{kWh} \times 4.5\text{h} + 40\text{kWh} \times 3\text{h} \} \times
 \end{aligned}$$

$$100\text{day} \times 0.03 \text{ RO/kWh} = 9,810 \text{ RO}$$

$$\begin{aligned} \text{便益側の電気料金} &= (\text{氷蓄熱放出運転時間に相当する空調運転時の消費電力 (3h)}) \times 100 \\ &\quad \text{H} \times 0.03 \text{ RO/kWh} \\ &= 780\text{kWh} \times 3\text{h/day} \times 100\text{day} \times 0.03 \text{ RO/kWh} \\ &= 7,020 \text{ RO} \end{aligned}$$

d. ピーク電力を低減させた報奨金 (コスト側に計上する)

ピーク電力を低減させた貢献に対する報奨金としては、最近のガスタービン発電所の入札結果 (160RO/kW) を採用する。

$$\begin{aligned} \text{報奨金} &= \text{低減電力 (通常空調時の電力 - ブラインド循環ポンプ電力)} \times \text{ガスタービン} \\ &\quad \text{発電所建設費の 1kW 当たりの金額} \\ &= (780 - 40)\text{kW} \times 160\text{RO/kW} \\ &= 118,400 \text{ RO} \end{aligned}$$

以上の計算結果は、15年間のコスト側および便益側の費用は下記の通りである。

表 5-3-8 Royal Hospital におけるコスト側および便益側の費用

Unit : RO

年	コスト (氷蓄熱冷房方式)					便益 (通常冷房方式)			
	投資金額	O&M	電気料金	報奨金支給 (-)	合計	投資金額	O&M	電気料金	合計
0	310,000			-118,400	191,600	194,000			194,000
1		2,480	9,810		12,290		1,940	7,020	8,960
2		2,480	9,810		12,290		1,940	7,020	8,960
3		2,480	9,810		12,290		1,940	7,020	8,960
4		2,480	9,810		12,290		1,940	7,020	8,960
5		2,480	9,810		12,290		1,940	7,020	8,960
6		2,480	9,810		12,290		1,940	7,020	8,960
7		2,480	9,810		12,290		1,940	7,020	8,960
8		2,480	9,810		12,290		1,940	7,020	8,960
9		2,480	9,810		12,290		1,940	7,020	8,960
10		2,480	9,810		12,290		1,940	7,020	8,960
11		2,480	9,810		12,290		1,940	7,020	8,960
12		2,480	9,810		12,290		1,940	7,020	8,960
13		2,480	9,810		12,290		1,940	7,020	8,960
14		2,480	9,810		12,290		1,940	7,020	8,960
15		2,480	9,810		12,290		1,940	7,020	8,960
Total	310,000	37,200	147,150	-118,400	375,950	194,000	29,100	105,300	328,400

e. 評価

15年間のNPVを算定した結果、B/Cは0.912であり、氷蓄熱冷房システムを採用するメリットはない。(Annex 3-3-s Cash Flow Analysis - Royal Hospital Peak Cut)

Operation 参照)

表 5-3-9 Royal Hospital における NPV 計算結果

Unit : RO

	コスト (氷蓄熱冷房方式)	便益 (通常冷房方式)	NPV (B-C)	B/C
現在価値	296,796	270,693	-26,103	0.912

④MCS (ケース 1)

a.積算結果

同様な計算を MCS に行なったが、その 1 年目のコスト側および便益側の費用は下記の通りである。(2 年日以降省略)

表 5-3-10 MCS におけるコスト側および便益側の費用

年	コスト (氷蓄熱冷房方式)					便益 (通常冷房方式)			
	投資金額	O&M	電気料金	報奨金支給(-)	合計	投資金額	O&M	電気料金	合計
0	267,000			-98,240	168,760	170,000			170,000
1		2,320	8,424		10,744		1,700	5,850	7,550

b.評価

15 年間の NPV を算定した結果、B/C は 0.900 であり、氷蓄熱冷房システムを採用するメリットはない。

表 5-3-11 MCS における NPV 計算結果

Unit : RO

	コスト (氷蓄熱冷房方式)	便益 (通常冷房方式)	NPV (B-C)	B/C
現在価値	260,723	234,624	-26,099	0.900

⑤Al Falaj Hotel (ケース 1)

同様な計算を Al Falaj Hotel で行なったが、その結果は下記の通りである。

a.積算結果

同様な計算を Al Falaj Hotel で行なったが、1 年目のコスト側および便益側の費用は下記の通りである (2 年日以降は省略)。



表 5-3-12 Al Falaj Hotel におけるコスト側および便益側の費用

Unit : RO

年	コスト (氷蓄熱冷房方式 k)					便益 (通常冷房方式)			
	投資金額	O&M	電気料金	報奨金支給(-)	合計	投資金額	O&M	電気料金	合計
0	107,000			-34,400	72,600	69,000			69,000
1		856	1,890		2,746		690	1,380	2,070

b. 評価

15 年間の NPV を算定した結果、B/C は 0.902 であり、氷蓄熱冷房システムを採用するメリットはない。

表 5-3-13 Al Falaj Hotel における NPV 計算結果

Unit : RO

	コスト (氷蓄熱冷房方式)	便益 (通常冷房方式)	NPV (B-C)	B/C
現在価値	96,104	86,718	-9,386	0.902

(3) ケース 2 負荷平準化運転を行ない、かつ氷蓄熱運転時の料金は、時間帯料金制度 (TOU) を活用する場合

① 負荷平準化運転に伴う条件

負荷平準化運転を行なうにあたり、氷蓄熱運転時間および機器の選定に付いて下記の考慮を行なった。

- ・報奨金はないものとし、投資の回収は TOU 料金で行なうものとした。
- ・ピーク時の電気料金は Royal Hospital と MCS は 30Bz/kWh、Al Falaj Hotel は 20Bz/kWh、またオフピークの電気料金は、いずれも 10Bz/kWh とした。
- ・TOU 料金が適用される期間は 180 日とした。
- ・Royal Hospital と Al Falaj Hotel の氷蓄熱運転時間は、8 時間可能なものとした。ただし、MCS の場合には深夜のピーク時間帯を避け、また朝 5 時には運転に入ることを考慮すると、4.5 時間程度しか氷蓄熱運転が出来ないので、4.5 時間で計画した。
- ・氷蓄熱放出運転時間は 10 時間とした。
- ・チラーの容量は、ピークカット運転時の容量より減少させ、設備コストの低減は図った。
- ・氷蓄熱槽の容量は氷蓄熱運転時間を考慮して容量を決定した。

特に明記なき事項は Case1 に準ずるものとする。

## ②各設備の概要

負荷平準化運転を行なう場合の各設備の概要を表5-3-14に示す。

表5-3-14 各施設に対する比較

	Royal Hospital	MCS	Al Falaj Hotel
現有設備 (チラー)	12 x 270 RT	3 x 150 RT	2 x 210 RT 2 x 160 RT
氷蓄熱に変換するチラー	2 x 270 RT	3 x 150 RT	1 x 160 RT
新しいチラーの容量	2 x 190 RT	2 x 125 RT	1 x 105 RT
氷蓄熱槽の容量 (m <sup>3</sup> )	150	90	40
氷蓄熱運転時間 (時間)	8	4.5	8
氷蓄熱放出運転 (時間)	10	10	10
平均放出運転による消費電力の減少 (kW)	270	140	70
参考資料			
・ 運転モード	Annex 5-3-c		
・ 消費電力量	Annex 5-3-d		

## ③経済性検討を行なう指標

経済性の検討は、コストとして氷蓄熱冷房システムを、また便益として通常の冷房システムの場合を比較する。すなわち、

$$\begin{aligned} \text{コスト} &= \text{氷蓄熱冷房システムの投資金額} + \text{保守費用} + \text{氷を作るための消費電力} \\ &\quad + \text{氷放熱時のブライン循環ポンプの消費電力} + \text{追掛け運転時の消費電力} \\ \text{便益} &= \text{通常冷房方式の投資金額} + \text{保守費用} + \text{空調運転時の消費電力} \end{aligned}$$

## ④Royal Hospital (ケース 2)

### a.投資金額

機器および据付工事、試験調整の試算価格は下記の通りである。

表5-3-15 Royal Hospitalにおける価格比較 単位：RO

	氷蓄熱方式(A)	通常方式(B)	差額 (C) (A-B)
機器	228,000	167,000	61,000
チラー (冷凍機)			
蓄熱槽、ブライン			
ポンプ、熱交換器			
配管、絶縁材			
動力、制御盤			
据付工事、試験調整	46,000	27,000	19,000
合計	274,000	194,000	80,000

b.電気料金

$$\begin{aligned}
 \text{コスト側の電気料金} &= \{ \text{氷を作るための消費電力 (8h)} \times 0.01\text{RO/kWh} + \\
 &\quad \{ \text{氷放熱時のブライン循環ポンプの消費電力 (10h)} + \\
 &\quad \text{追掛け運転時の消費電力(10h)} \} \times 0.03 \text{ RO} \} \times 180 \text{ 日} \\
 &= [500\text{kWh} \times 8\text{h} \times 0.01\text{RO/kWh} + (30\text{kWh} \times 10\text{h} + \\
 &\quad 480\text{kWh} \times 10\text{h}) \times 0.03 \text{ RO/kWh}] \times 180\text{day} \\
 &= 34,740 \text{ RO} \\
 \text{便益側の電気料金} &= (\text{氷蓄熱放出運転時間に相当する空調運転時の消費電力 (10h)}) \\
 &\quad \times 180 \text{ 日} \times 0.03 \text{ RO} \\
 &= 780\text{kWh} \times 10\text{h} \times 180\text{day} \times 0.03 \text{ RO/kWh} \\
 &= 42,120 \text{ RO}
 \end{aligned}$$

以上の計算結果は、15年間のコスト側および便益側の費用は下記の通りである。

表 5-3-16 Royal Hospital におけるコスト側および便益側の費用

Unit : RO

年	コスト (氷蓄熱冷房方式)				便益 (通常冷房方式)			
	投資金額	O&M	電気料金	合計	投資金額	O&M	電気料金	合計
0	274,000			274,000	194,000			194,000
1		2,190	34,740	36,930		1,940	42,120	44,060
2		2,190	34,740	36,930		1,940	42,120	44,060
3		2,190	34,740	36,930		1,940	42,120	44,060
4		2,190	34,740	36,930		1,940	42,120	44,060
5		2,190	34,740	36,930		1,940	42,120	44,060
6		2,190	34,740	36,930		1,940	42,120	44,060
7		2,190	34,740	36,930		1,940	42,120	44,060
8		2,190	34,740	36,930		1,940	42,120	44,060
9		2,190	34,740	36,930		1,940	42,120	44,060
10		2,190	34,740	36,930		1,940	42,120	44,060
11		2,190	34,740	36,930		1,940	42,120	44,060
12		2,190	34,740	36,930		1,940	42,120	44,060
13		2,190	34,740	36,930		1,940	42,120	44,060
14		2,190	34,740	36,930		1,940	42,120	44,060
15		2,190	34,740	36,930		1,940	42,120	44,060
Total	274,000	32,850	521,100	827,950	194,000	29,100	631,800	854,900

c.評価

15年間のNPVを算定した結果、B/Cは0.968であり、TOU料金を適用し、オフピーク料金として10Bz/kWhとしても、氷蓄熱冷房システムを採用するメリットはない。  
(Annex 3-3-t ; Cash Flow Analysis-Ice Thermal System- TOU 参照)

表 5-3-17 Royal Hospital における NPV 計算結果

Unit : RO

	コスト (氷蓄熱冷房方式)	便益 (通常冷房方式)	NPV (B-C)	B/C
現在価値	590,102	571,131	-18,971	0.968

⑤MCS (ケース 2)

a.積算結果

同様な計算を MCS に行なったが、その 1 年目のコスト側および便益側の費用は下記の通りである。(2 年目以降省略)

表 5-3-18 MCS におけるコスト側および便益側の費用

年	コスト (氷蓄熱冷房方式)				便益 (通常冷房方式)			
	投資金額	O&M	電気料金	合計	投資金額	O&M	電気料金	合計
0	234,000			234,000	170,000			170,000
1		1,870	31,590	33,460		1700	35,100	36,800

b.評価

15 年間の NPV を算定した結果、B/C は、0.932 であり、現状では氷蓄熱冷房システムを採用するメリットはない。

表 5-3-19 MCS における NPV 計算結果

Unit : RO

	コスト (氷蓄熱冷房方式)	便益 (通常冷房方式)	NPV (B-C)	B/C
現在価値	520,400	484,989	-35,411	0.932

⑥Al Falaj Hotel (ケース 2)

同様な計算を Al Falaj Hotel で行なったが、その結果は下記の通りである。

a.積算結果

同様な計算を Al Falaj Hotel で行なったが、1 年目のコスト側および便益側の費用は下記の通りである (2 年目以降は省略)。

表 5-3-20 Al Falaj Hotel におけるコスト側および便益側の費用

Unit : RO

年	コスト (氷蓄熱冷房方式)				便益 (通常冷房方式)			
	投資金額	O&M	電気料金	合計	投資金額	O&M	電気料金	合計
0	95,000			95,000	69,000			69,000
1		760	7,690	8,450		690	8,280	8,970

b. 評価

15年間のNPVを算定した結果、B/Cは、0.871であり、現状では氷蓄熱冷房システムを採用するメリットはない。

表 5-3-21 Al Falaj Hotel における NPV 計算結果

Unit : RO

	コスト (氷蓄熱冷房方式)	便益 (通常冷房方式)	NPV (B-C)	B/C
現在価値	167,328	145,779	-21,549	0.871

5-3-7. 結論

今回は二つのケースについての試算を行なった。すなわち、ケース1はピークカット運転に伴う消費電力減少 (kW) に対し、ガスタービンの kW 当たりの建設単価を報奨金として支給する場合であり、ケース2は負荷平準化運転を行ない、かつ氷蓄熱運転時の料金は時間帯料金制度 (TOU) を活用する場合であるが、いずれの場合も下記のように NPV の B/C (便益/コスト) は1以下であり、経済的に成り立たないという結論になった。

しかし、ケース2の場合は TOU 料金制度だけを活用する案であったが、経済性評価についてはコストと便益が非常に接近しており、微妙な検討結果であるため施策次第によっては本技術が今後浮上する可能性もあると思われる。

ケース1—Peak Cut Operation

	Royal Hospital	MCS	Al Falaj Hotel
B/C of VPV	0.912	0.900	0.902

ケース2—TOU

	Royal Hospital	MCS	Al Falaj Hotel
B/C of VPV	0.968	0.932	0.871

注: ケース2の TOU 料金は、Royal Hospital と MCS のピーク電気料金は 30Bz/kWh、Al Falaj Hotel は 20Bz/kWh、またオフピーク電気料金はいずれも 10Bz/kWh とした。ただし報奨金はゼロである。

いずれの場合にも、Royal Hospital が他に比較して経済性に優れているという結果が出たが、これはスケールメリットによるものである。また、Al Falaj Hotel—TOU の場合に B/C が悪いが、これはピーク電気料金を 20Bz/kWh としたためである。

このように、氷蓄熱冷房システムが経済性に乗りにくい原因は、次のように考えられる。

(1)夏季のピーク時とオフピーク時の変動は約 68%であり、日本の約 45%と比較してそれほど大きくはない。ピークもオフピークも毎日各 2 回発生しており、複雑な負荷変動をしており、氷をつくるための氷蓄熱運転が非常に限定される。このため、日本のようにオフピーク時間帯は、22 時より 8 時までと単純に決められない。ケース 2 の TOU 料金制度を導入した場合の検討では氷蓄熱運転時間を 8 時間として計画したが、運転管理上も相当の工夫が必要である。

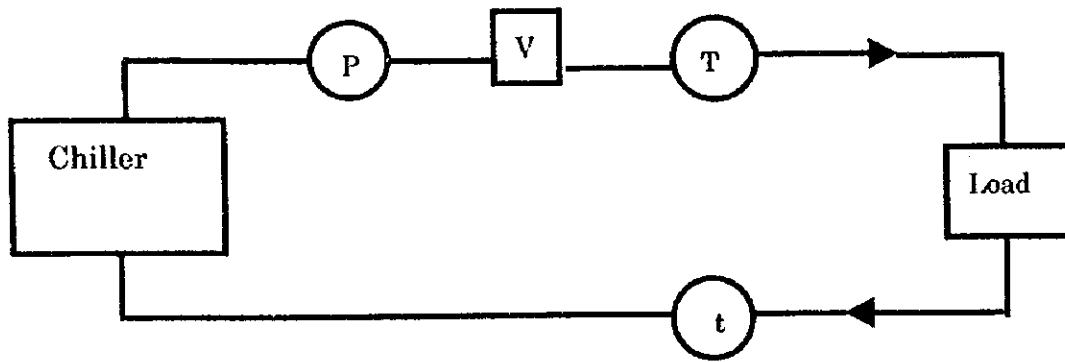
(2)ガスタービン発電所の建設費が kW 当たり 160RO と安価であり、同様に電気料金も安価であるので、氷蓄熱冷房システム普及のための施策も非常に限定されてくる。

#### 5-3-8. 今後の課題

今回 5-3-2 (5) 項にて、日間負荷変動を調査し、夏季には深夜でも相当の冷房負荷が残ることが判明したが、冷房システムを正確に計画するためには、何年間かにわたる冷房負荷容量の把握が必要であり、政府系建物、一般商業建物、ホテルまたは病院および民間住宅について少なくとも各 1 個所での調査を行なうことを推奨したい。冷房負荷の測定方法の概要を図 5-3-8 に示すが、冷水の流量 (V)、冷水の入口 (T)、冷水の出口 (t) が測定できれば、下記の式にて供給熱量(Q)は計算できる。

$$Q=K \cdot V \cdot (t-T) \text{ ただし、} K: \text{熱量換算係数}$$

また、流量計は取付工事の容易な電磁流量計とし、測定は自動計測方式が望ましい。この結果により、冷房に関する正確なデータが取得できると同時に今後の省エネ対策にも有効に活用できると考えられる。



P: Pump  
V: Quantity of chilled water (m<sup>3</sup>/h)  
T: Inlet temperature (°C)  
t: Outlet temperature (°C)

図 5-3-8 熱量計量の概念図

## 5-4. 太陽光発電システム

### 5-4-1. 太陽光エネルギー

#### (1)最大エネルギー

太陽光エネルギーは、従来から自然エネルギーの利用により、地球上のエネルギーの節約の観点から省エネルギー、また、地球に優しいエネルギーであると言われている。近年特に、地球環境問題がクローズアップされるにおよび、注目を集めている。さて、それではこのエネルギーは地球上でどの程度利用できるものか、ふり返ってみる。

一般に、太陽から地球上に降り注ぐエネルギーは、 $1\text{kW}/\text{m}^2$ と言われている。太陽電池を用いた発電では、現在、 $0.13\sim 0.15\text{kW}/\text{m}^2$ の電気エネルギーが得られる。これを図 5-4-1 に示す。

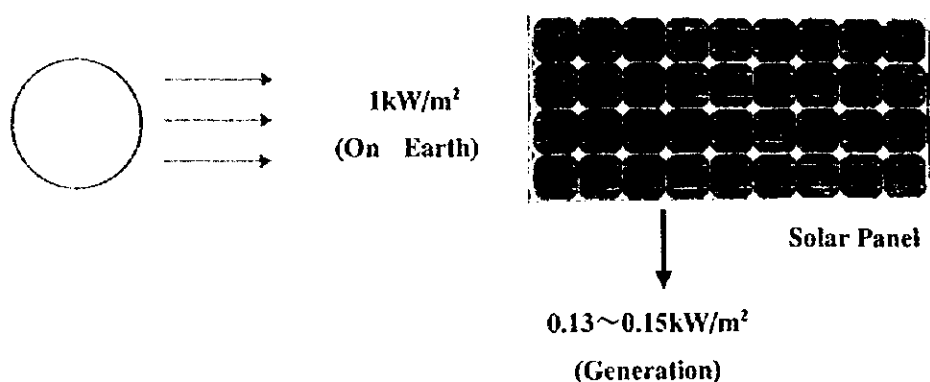


図 5-4-1 太陽光エネルギー

因みに、ここで、現在のオマーン国の最大電力需要をほぼ 100 万 kW とすると、1,000 万  $\text{m}^2$  (10 $\text{km}^2$ ) すなわち、約 3.2km 四方の区域の面積の太陽電池で、この需要を賄うことができることになる。人口の割には面積の広く、太陽エネルギーも豊富に得られるオマーン国では、魅力のあるエネルギーではないだろうか。

#### (2)利用可能なエネルギー

前項のエネルギーは最大エネルギーであり、年間には晴天以外の日もあり、夜もある。そこで、太陽発電システムの年間の設備利用率を考えてみる。次の表 5-4-1 に太陽電池パネルの仕様例を示す。この表によれば、太陽光発電システムの設備利用率は、日本ではほぼ 13% と考えられる。



表 5-4-1 ソーラーハウス用太陽電池の仕様例

電池容量(kW) (1)	1.33	2.04	3.06	4.08	5.35
標準設置面積 (m <sup>2</sup> )	12	17	26	34	45
推定年間発電量 (kWh/年)(2)	1543	2365	3552	4736	6210
設備利用率 ((2)/(1)×8760)	0.13				

## 5-4-2. 太陽光発電システムの構成

### (1)系統連系型システム

都市部で電力系統に接続される系統連系型の太陽光発電システムは、次の図 5-4-2 に示すように構成されるのが一般的である。まず、太陽電池から直流 (DC) 電力がインバータに供給され、ここで、家庭用の負荷や商用電源に接続するため交流 (AC) 電力に変換される。直流回路には、オプションとして電池システムが接続され、商用電源に送電する代わりに、この電池への電力貯蔵も可能である。こうすれば、このシステム内で、太陽光発電の余剰分を効果的に処理が可能である。

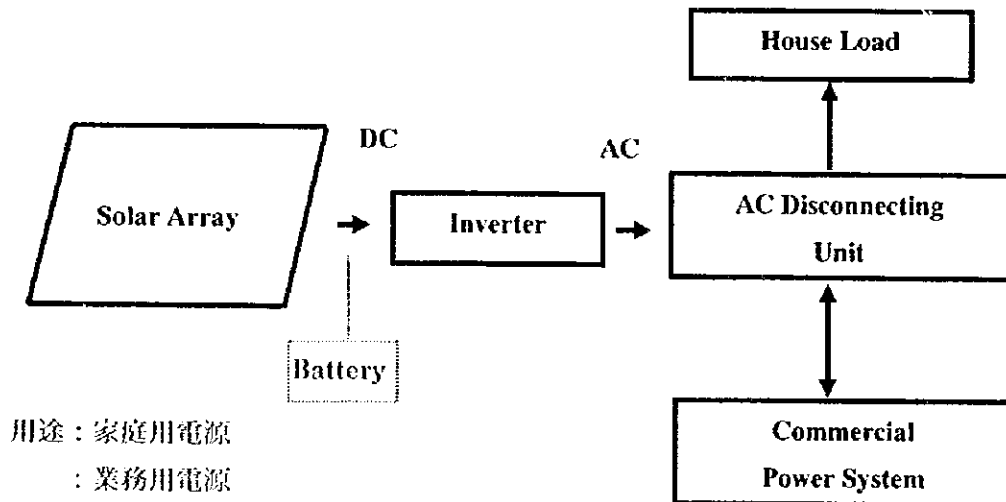


図 5-4-2 系統連系型太陽光発電システムの構成

つぎに、商用電源との電力の遣り取りを図 5-4-3 に示す。昼間の発電量が負荷を上回る時間帯は商用電源に電力を送り (売電)、夜間の逆の時間帯は電力を受ける (買電)。このように、一般に電力負荷のピークとなる昼間に太陽光発電は大きな電力が得られるので、商用電源のピークシェーピング用として有効である。

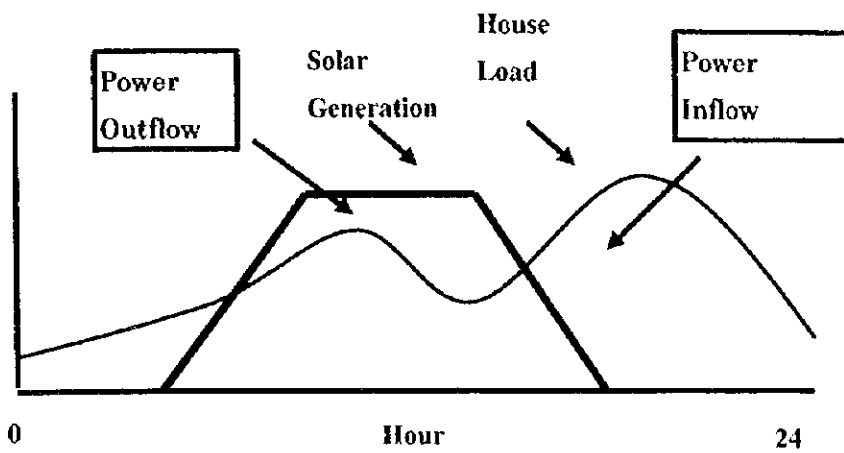


図 5-4-3 太陽光発電と負荷

(2)独立型システム

遠隔地など配電網が未整備な所で多く用いられる独立型システムは、商用電源と完全に分離したシステムで、太陽光で発電した電気だけで運転する。太陽光が少ない曇天日や夜間にも電気を利用できるよう、蓄電池を必ず設置する必要がある。

このタイプには図 5-4-4 および図 5-4-5 に示すように直流電源システムと交流電源システムがある。

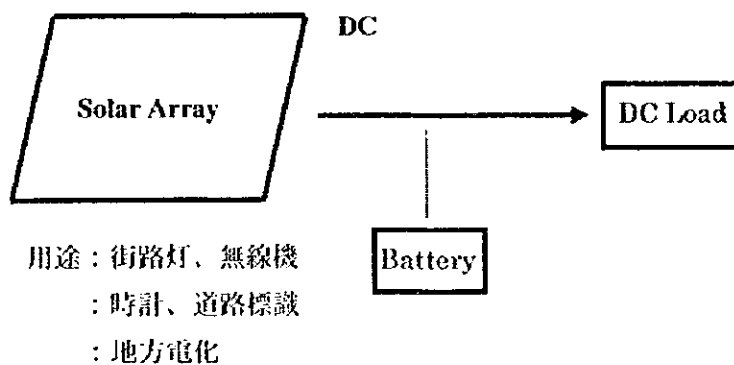


図 5-4-4 直流電源型太陽光発電システムの構成

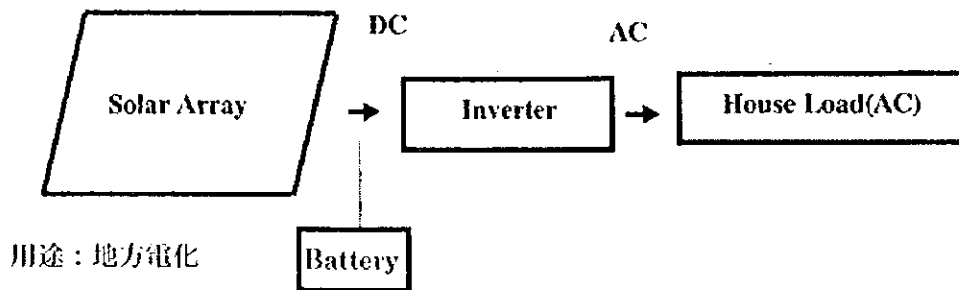


図 5-4-5 交流電源型太陽光発電システムの構成

### 5-4-3. 太陽光発電システムの経済性

#### (1)前提条件

計算に当たって、次の前提条件を設定する。

(換算レート：1US\$=0.388RO=130yen)

①期間：設備寿命の20年とし、対象期間である1998年から2018年を考える。

方法：1998年に建設し、翌年から期間内のコストとベネフィットの現在価値を比較する。

- ・割引率；0.08
- ・建設費；2,980 RO/kW(日本の系統連系型（戸建用）現状価格100万円/kW)から変化させる
- ・維持費；建設費の1%
- ・設備利用率；19%（日本の値13%とオマーン/日本の日射量比1.43倍より計算）

日本の日射量：広島 13.62MJ/m<sup>2</sup>/d

オマーンの日射量：7カ所平均 19.43MJ/m<sup>2</sup>/d

（日射量データ：NEDO委託 日本気象協会調査レポートより）

- ・ベネフィット；以下の通り、実電気料金；10,30Bz/kWh など

ベネフィット＝電気料金（Bz/kWh）太陽光発電システム年間発電電力量（kWh）

太陽光発電システム年間発電電力量（kWh）

＝システム出力（kW）×設備利用率×8,760(hs/year)

#### ②電気料金

家庭用、政府用の最高・最低の平均料金として、10Bz/kWh および 30Bz/kWh とする。

#### （参考）炭酸ガス排出量の減少

まず、発電設備のライフサイクルにおける使用燃料別の炭酸ガス排出量を表5-4-2に示す。表から、オマーンの主な燃料の天然ガスを太陽光で代替することにより、

0.162 kg-C/kWh(0.178-0.016 kg-C/kWh)の炭酸ガス排出量の削減が可能である。

表 5-4-2 発電設備のライフサイクルにおける炭酸ガス排出原単位

Fuel of power generation	CO <sub>2</sub> Release quantity (kg-C/kWh)
LNG Thermal	0.178
Oil Thermal	0.200
Coal Thermal	0.270
Nuclear	0.0057
Photovoltaic	0.016

Source: Japanese Journal of "Denki Hyoron"

この排出削減量の貨幣価値については、排出権の譲渡の際の価格など検討されているが、まだ明らかではない。この価格は市場価格として決まるものであり、常に一律の値に決まるとは限らない。炭素 1 トン当たり、数ドルから数十ドルという予測もあるが、この場合、上の kWh 当たりの削減量より換算すると、大きい場合でも約 1 セント/kWh 程度であり、ベネフィットの大きさとしては無視できる。

## (2)計算

試算結果を表 5-4-3 と図 5-4-6 に示す。

現状の日本の建設費である 2,980 RO/kW レベルでは、電気料金のベネフィットを勘案しても、経済性はない。将来の目標とされている 596~894 RO/kW でも、電気料金のみでは回収できないが、料金レベルが 30Bz/kWh を超すような状況になれば経済性が出てくることが期待される。

表 5-4-3 太陽光発電システムの建設費と経済性

Const. Cost (RO/kW)	Cost (10 <sup>3</sup> RO)	Benefit(10 <sup>3</sup> RO)		100kW 20年間 NPV	
		10Bz/kWh	30Bz/kWh	B/C	
				10Bz/kWh	30Bz/kWh
298	32.7	16.8	49	0.51	1.50
596	65.5	16.8	49	0.26	0.75
894	98.2	16.8	49	0.17	0.50
1192	130.9	16.8	49	0.13	0.37
1490	163.7	16.8	49	0.10	0.30
1788	196.4	16.8	49	0.09	0.25
2086	229.1	16.8	49	0.07	0.21
2384	261.8	16.8	49	0.06	0.19
2682	294.6	16.8	49	0.06	0.17
2980	327.3	16.8	49	0.05	0.15

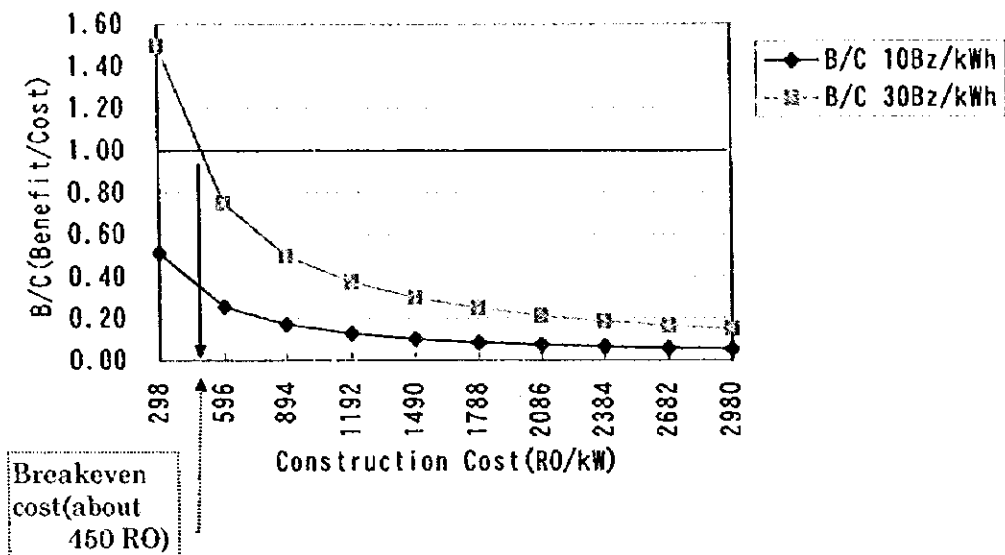


図 5-4-6 太陽光発電システムの建設費と経済性

従って、当面、環境問題などの対応策として普及を図っていく場合、かなりの補助金などを出す必要がある。例えば、電気料金が 30Bz/kWh の場合、B/C が 1 となる建設費は図 5-4-6 より約 450RO/kW と計算される。従って、建設費が現状の日本の系統連系型（戸建用）システムの約 3,000RO/kW である場合には、需要家側の負担をブレイクイーブン価格 447RO/kW とするためには約 85% の補助が必要になり、現実的ではない。

#### 5-4-4. オマーン国への導入について

前節の検討結果より、ベネフィットがオマーン国の電気料金レベルである場合、太陽光発電システムの導入には経済性の面で無理があることが分かる。換言すれば、現在の電気料金レベルで供給されている現状の電力系統内、例えば都市部などへの導入は難しい。そこで、実質的に電力供給コスト（Bz/kWh）が高くなるような区域、例えばローカルで今後電化が必要な地域への導入について考察する。一般的に、このような区域の電化は、負荷の割に長距離の配電線の敷設を要し、実質的な供給コストが高くなると考えられるからである。

以下に、太陽光発電システムによる発電コストと配電線敷設による電力供給コストを試算し、どのような場合に太陽光発電システムの設置が有利であるか考察する。ここで、発電コストなど kWh 当たりのコストを用いて比較するのは、太陽光発電システムや配電線など耐用年数の異なるものを比較する場合便利であるためである。

#### (1) 太陽光発電システムによる発電コスト

5-4-3 節 (1) の前提条件による計算結果を表 5-4-4 および図 5-4-7 に示す。

表 5-4-4 太陽光発電システムの建設費と発電コスト

Construction Cost (RO/kW)	Generation Cost (Bz/kWh)	Generation Cost (Incl. Battery.:+20%) (Bz/kWh)
298	19.7	23.6
596	39.4	47.3
894	59.1	70.9
1192	78.8	94.5
1490	98.5	118.2
1788	118.2	141.8
2086	137.9	165.4
2384	157.6	189.1
2682	177.3	212.7
2980	196.9	236.3

Generation Cost = Construction Cost\*(c/f+M&O Rate)/(8760\*Plant Fact.)

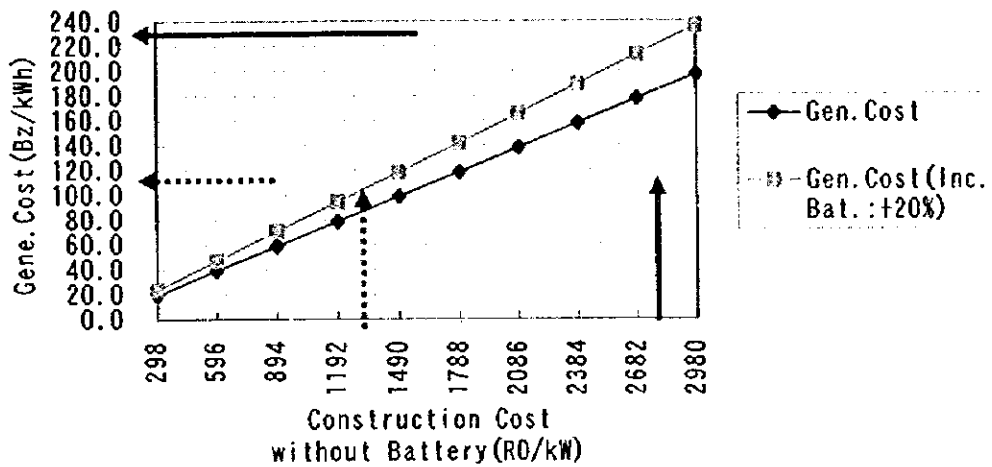


図 5-4-7 太陽光発電システムの発電コスト

(2)配電線敷設による電力供給コスト

ここで計算する配電線敷設による増加コストは、配電線の長さ (km) とこれに繋がる需要 (kWh) の大きさに依存して変動する。そこで、配電線の km 当たりの敷設コストと 1 需要家当たりの需要などを以下のように想定し、長さが必要家数を変化させて計算し、表 5-4-5 および図 5-4-8 のような結果が得られた。

- ・配電線敷設コスト：6,000 RO/km, 11kV (オマーン国資産評価資料)

- ・需要規模：6,000 kWh/Demand/year (オマーン国家庭の平均使用量の 1/2 を仮定)
- ・需要家数：20, 40, 200 口

都市部の代表的な配電フィーダの需要は夏季ピーク時期で約 2,000~4,000kW、これを年間の電力量に換算すれば、(年平均負荷率を約 60%として)10~20GWh の量になる。従って、需要家数 20 口の場合は年間 0.12 GWh の量であり、上の平均的なフィーダの 1%程度の需要規模である。

図 5-4-8 に示す結果より、前項で得られた現状の太陽光発電設備の建設費レベルの発電コスト (約 240Bz/kWh) に相当するのは、20 口 (0.12GWh) の需要に 50km 余の長さの配電線で供給する場合である。将来、太陽光発電設備の建設費が半減した場合、需要規模が 20 口で同じなら 30km で、逆に長さが同じなら 40 口の需要規模に供給する場合に経済性が出始めることになる。

表 5-4-5 配電線敷設による電力供給コスト

L(km)	Demand			Construction Cost Crf (40y,8%)
	Number 20	Number 40	Number 200	
10	42	21	4.2	6000 RO/km 0.084 6000 kWh/y/Demand
20	84	42	8.4	
30	126	63	12.6	
40	168	84	16.8	
50	210	105	21	
60	252	126	25.2	

$$\text{Distribution Cost (Bz/kWh)} = \text{Const. Cost} * L * \text{crf} / (\text{Load/Demand} / \text{Demand Number} * 1000)$$

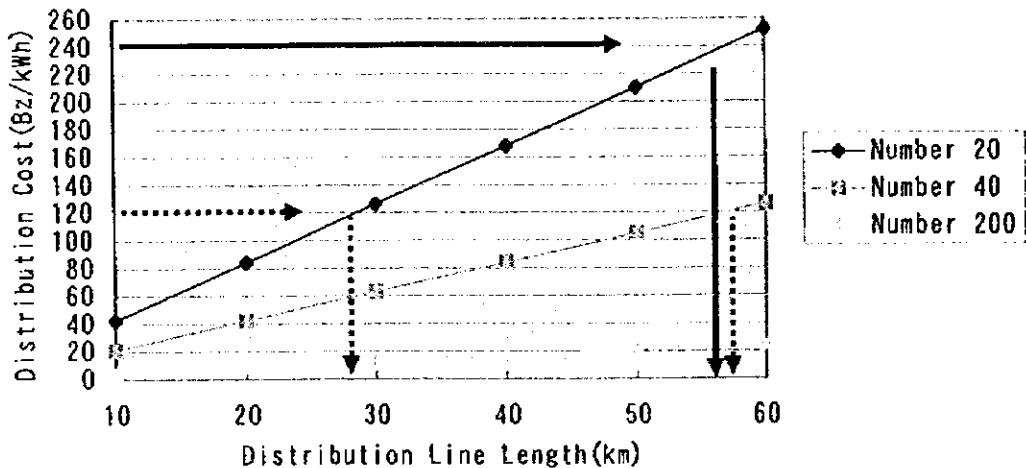


図 5-4-8 配電線敷設による電力供給コスト

### (3)太陽光発電システムの例

オマーン国にも約 15%の未電化地域が残っているとのことであり、前項の検討結果、このような地域の電化に対して、長距離の配電線敷設の代わりに太陽光発電システムを適用できる可能性がある。即ち、約 50km 以上の配電線敷設を要し、需要規模が年間 0.12GWh (6,000 kWh/Demand×20 Demand)以下のような地域の電化を行う必要が生じた場合に、太陽光発電システムの導入に可能性が出てくる。この場合、先にも触れたように図 5-4-5 に示す「独立型交流電源型太陽光発電システム」が有効であり、需要規模を前の仮定のように 6,000kWh/Demand/y とすれば、各戸の太陽光発電システムの出力は約 5kW ( $6,000\text{kWh}/8760\text{h}/0.19$  (設備利用率)  $/0.7=5.1\text{kW}\rightarrow 5\text{kW}$ ) と計算される。なお、ここで発電電力は、ほとんどが1度バッテリーに充電され、消費時に放電されると考えられるので、充・放電効率 (0.7) で除してこの分、出力を大きくしている。これは、日本の平均的な戸建住宅に、太陽光発電システムを設置して電力を賄う場合の設備の代表例に近い規模である。以上の設置条件とシステム構成のイメージを図 5-4-9 に示す。

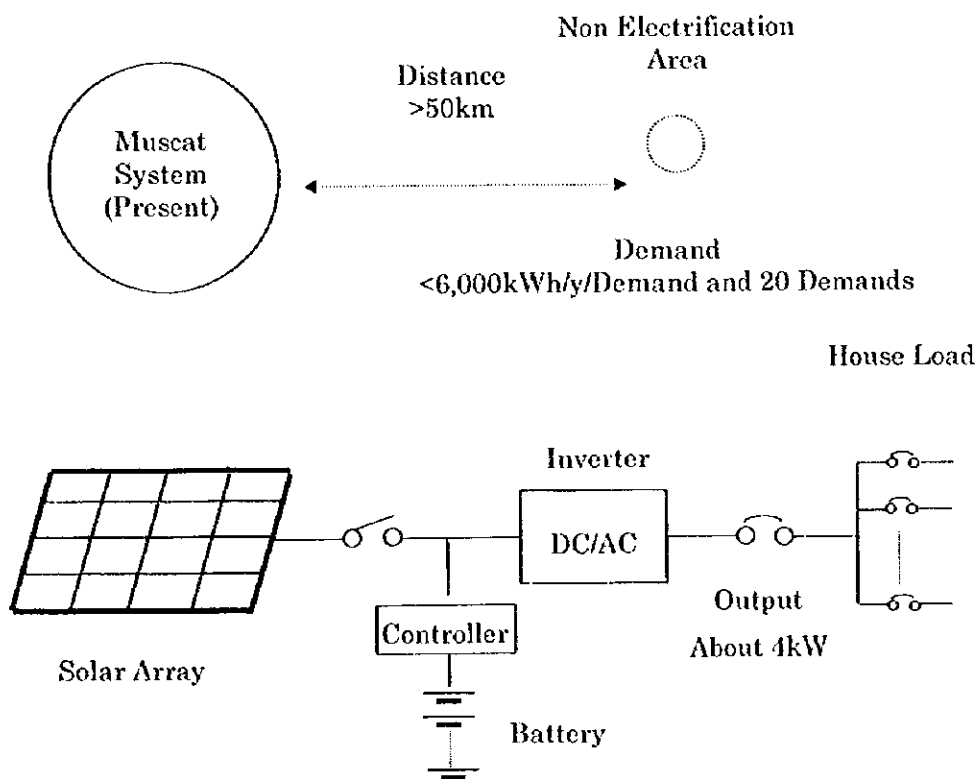


図 5-4-9 太陽光発電システムの例



この規模にほぼ等しい、日本の住宅への設置例（系統連系型でバッテリー無し）の主な仕様を表 5-4-6 に示す。この例では、総工事費が約 15,000RO(500 万円)で、この約 1/3 の補助金が交付されている。

表 5-4-6 太陽光発電システム設置例の主な仕様（日本住宅の系統連系型、バッテリー無）

Item	Explanation
Solar Equipment	Module Maximum Output: 85 W Module Number: 56 Array Maximum Output: 4.76 kW Area: About 37 m <sup>2</sup> (0.66m <sup>2</sup> ×56)
Inverter (with Protection Device)	Rated Output: 4.5 kW
Installation of Solar Equipment	On the roof of existing house.