

# 大型火力発電所排熱活用地域熱供給システム

## District Heating and Cooling System Using Extraction Steam of Capacious Thermal Power Plant

井川 広之\*

Hiroyuki Ikawa

### 1. はじめに

日本の地域熱供給も20数年の歴史を経た。初期には温水供給用の熱源をボイラに頼った簡単なシステムから、更なる省エネルギーを追求したシステム、未利用エネルギーを利用したシステムへと変遷し、地球環境保全、防災機能付加等新しいコンセプトを担ったシステムも登場するようになってきた。今や日本の地域熱供給も、熱源のあらゆる可能性を求めながら省エネルギーと共に、事業の採算性を高め、地域とベストに融合させる努力が払われている。

ところで、地域熱供給の先進国である欧州では、供給地域に隣接していると言う地理的条件もあって電力生産も合わせた地域熱供給システムは既成のものとなっている感があるが日本では未発展の分野でもある。供給地域が近く暖房、給湯需要が主体となる欧州の様な地域熱供給と冷房需要比率が高い日本の様な地域熱供給ではシステム構成に当然ながら違いが生じ、先進国のシステムをそのまま取り入れる訳にはいかない。そう言った意味で新しい試みをした。

ここに紹介する地域熱供給システムは大容量発電システムの抽気蒸気を熱源とし、冷房需要にも対応したものである。稼働中の発電プラントを改造して地域熱供給に適した蒸気を供給出来るようにした。この種のシステムでは国内で初めての試みであり、良好な環境保全と共に、電力供給システムとの完全な共存を指向したものである。

### 2. システムの概要

#### 2.1 背景

発電所に隣接してリゾート法の適用を受けた海洋都市型の新しい町づくりが人工島を造成して作られ、発

電所のイメージアップと町の景観や周辺環境に配慮した新しいエネルギー供給と言うコンセプトが提唱された。大容量火力発電所に隣接すると言う好立地条件で発電プラントの排熱等を有効に活用出来ないかとの発想と、地元を含めた要望から、

- (1) 夏期の電力需要ピークには発電所の能力を一杯に使いたい(発電機の出力は低下させない)。
- (2) 給湯、暖房、冷房用の熱源を供給する。
- (3) リスクの少ない技術を採用する。

等の条件をクリアした本発電システム改造計画が採用され、大容量火力発電所の排熱(タービン抽気蒸気)活用による地域熱供給システムが実現した。

図-1に海南発電所3-4号タービン抽気を利用した蒸気供給システムを示す。

#### 2.2 発電所側の改造検討

発電プラントは和歌山県海南市にある関西電力株式会社海南発電所である。このプラントには4組のボイラ、タービン、発電機が有って合計出力は2,100MWになる。表1に発電所設備概要を示す。

発電所の沖合0.5kmに造成された総面積65haの人工島(和歌山マリーナシティ)が熱の需要先であり、最終的には83GJの熱需要となることが提示されて実施設計に入ったが、

- (1) 熱の輸送が比較的遠距離となり、途中の橋梁添架部分は配管荷重を出来るだけ少なく押さえた
- (2) 冷房用の冷水製造には技術的に完成度の高い2重効用蒸気吸収式冷凍機が最適である。

と言う制約条件もあって発電サイクルの超高圧ならびに高圧タービン出口の再熱蒸気系統から蒸気を取り出し(抽気し)、温度180℃以下、圧力0.7~0.9Mpaの飽和蒸気に加工し直して供給する方法が改造費用の面からも有利であることが判り、熱供給側設計者とも合意した。

当然発電プラント側ではボイラ最大蒸気量、タービ

\* 和歌山マリーナシティ熱供給機技術部長

〒641-0014 和歌山市毛見1538 (マリーナシティ内) エネルギーセンター

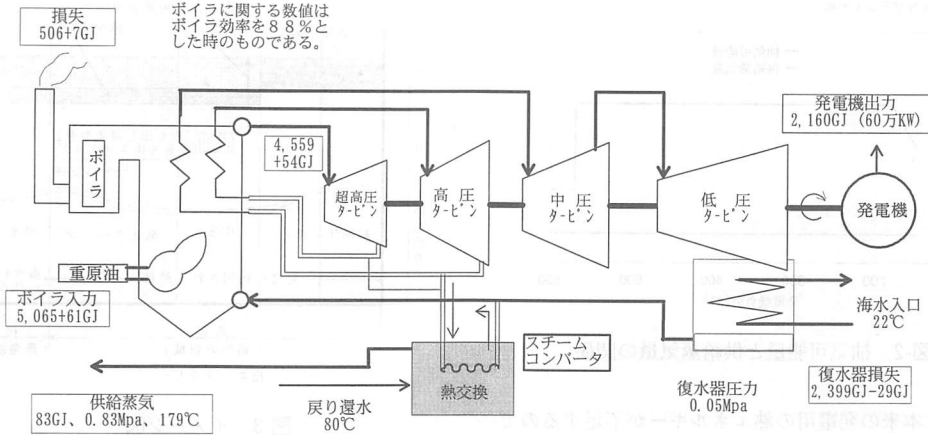


図-1 海南発電所3-4号タービン抽気を利用した蒸気供給システム

表 1 発電所設備の概要

発電機の 定格出力	合計	2,100MW			
	内訳	1号発電機	2号発電機	3号発電機	4号発電機
		450MW	450MW	600MW	600MW
運転開始年月		1970-5	1970-9	1974-4	1973-6
ボイラ	形式	放射二段再熱貫流			
	蒸発量	1,380T/h	1,380T/h	1,850T/h	1,850T/h
	圧力	主蒸気：25Mpa / 1段再熱蒸気：6.9Mpa / 2段再熱蒸気：2.2Mpa			
	温度	主蒸気：541℃ / 1段再熱蒸気：554℃ / 2段再熱蒸気：568℃			
タービン	形式	再生二段再熱			
燃料の種類		重原油			
新設スチームコンバータ					
駆動蒸気	高負荷時	温度：400℃~413℃	圧力：2.4Mpa~2.5Mpa		
	低負荷時	温度：350℃~360℃	圧力：6.8Mpa~6.9Mpa		
発生蒸気	量	83GJ/h			
	圧力、温度	温度：179℃	圧力：0.83Mpa		

ン最大出力に対する裕度の範囲でボイラの燃料炊き増しが必要となるので、これに伴うボイラ、タービン内部の給水や蒸気量増加に伴う影響を整理した。これに基づいて各発電機の最低負荷から最大負荷に亘っての供給可能蒸気量を検討した結果、4機の発電機の内出力600MWの発電機2機が条件に適用となった。

抽気可能量と供給蒸気量の関係を図-2に示す。

さて、発電プラントはボイラでは燃料を燃焼させ、復水器からの給水に熱エネルギーを与え高温高压の蒸気に変える。タービンでは高温高压の蒸気の持つ熱エネルギーを圧力、温度を下げながら（膨張しながら）回転エネルギーに変換する。発電機ではこの回転エネルギーを電気出力に変える。と言う仕組みをもったものである。タービンを回転させるため、低压タービン出口の高い真空領域でも過熱度を保った蒸気の状態が必要となって低压タービンの出口では例えば中間負荷帯で、2.4GJ/Kg程の熱エネルギーがまだ残ってい

る状態となる。これを海水で冷却し、蒸発潜熱を奪って33℃程度の復水にしている。この復水がボイラ給水となって再び高温高压の蒸気となる。この海水で冷却する過程で熱エネルギーの大部分は海水に捨てられることとなる。但しこの熱エネルギーは再利用しにくい温度の低い熱エネルギーとなっており、再利用するためには外部動力を使用する大規模なヒートポンプシステム等が必要となる。このように熱エネルギーを利用する発電プラントは電気出力を得るためだけに作られたもので熱エネルギーを最大限電気エネルギーに変換出来るよう考えられたシステムの1つである。海南発電所の発電プラントは超臨界圧2段再熱再生サイクルと言う効率の良いシステムである。

一方で、熱供給の目的で熱エネルギーを外部に取り出す場合を考えると、高温高压の蒸気の一部が高い真空域まで膨張しないで途中で外部に熱エネルギーとして取り出される。外部に熱エネルギーの一部が取り出

海南発電所3号プラントの例

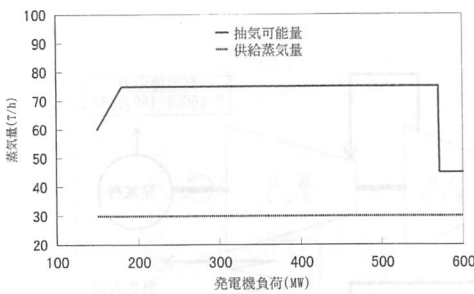


図-2 抽気可能量と供給蒸気量の関係

されると本来の発電用の熱エネルギーが不足するのでボイラの燃料を増加させる。ここで [熱量=エンタルピー×流量] の関係から、燃料のもつ熱量を蒸気流量で置き換えて考えると、ボイラで増加した流量はタービンに入り高温高压の状態から抽気に適した圧力、温度に下がるまでは超高压・高压タービン等を回して発電する。超高压・高压タービン等は発電機の出力維持のため設計定格出力より多い出力を受け持つが抽気点より後流側の中・低压タービンは、抽気点から上流側での過出力分に等しい出力をその時の標準出力から減じることが出来る。抽気点での流量変化分は外部に取り出せ、且つ蒸発潜熱分まで利用出来ることになってエンタルピーの利用範囲が発電をする場合よりも大きくなる。

[取り出し可能熱量=抽気点でのエンタルピー×流量変化分] (抽気点の圧力・温度条件によって取り出せる熱量が変わる。)

この様にして発電サイクルにおける発電機出力、増分熱量 (増分流量)、外部への取り出し熱量 (流量) の関係がバランスする。発電機の定格出力時に30Ton/h蒸気を高压タービン出口で抽気したときにボイラに供給する増分熱量は [54GJ/h/ボイラ効率] となる。ここでスチームコンバータから83GJ/hの熱供給用熱量を取り出すことが出来る。単独でボイラを設置して83GJ/hの熱を生産しようとするれば、ボイラに [83GJ/h/ボイラ効率] の燃料を投入する必要があるが、このシステムでは差 [83-54=29GJ/h、約35%] の熱エネルギーが海水に捨てられずに回収され、省エネルギーが図れることとなる。イメージ図を図-3に示す。

2.3 発電所側改造内容

改造内容は次のとおりである。

(1) 超高压、並びに高压タービン出口から抽気する

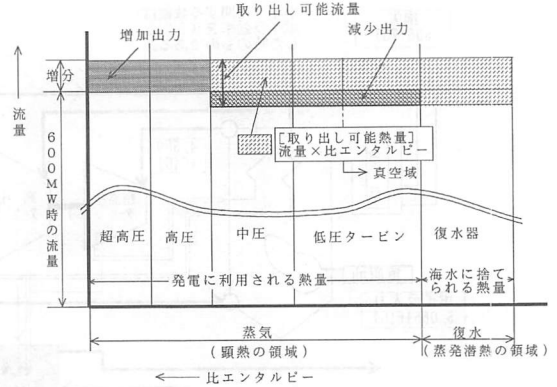


図-3 イメージ図

ための抽気口取り付け

発電機が高出力運転の時は高压タービン出口第2段低温再熱排気管 (ボイラ再熱器入口管) から、低出力運転時には超高压タービン出口第1段低温再熱排気管から抽気出来るように抽気口を取り付けている。

(2) タービン抽気から供給用蒸気を生産するためのスチームコンバータ設置

供給用蒸気は熱供給側の要求では普通の軟水から製造すればよいが、発電所内補助蒸気系統との連携も有ることから純水で薬品処理したものを使うこととした。需要先で熱交換した後は還水となるのでこれを回収して再加熱、再使用する循環方式にしている。

2.4 熱供給側設備の概要

発電所のタービン抽気を利用するため、常時の蒸気製造設備も不要であり、冷熱製造設備も蒸気吸収式冷凍機を主とした設備構成となって、全体として非常にシンプルなものとなった。

(1) 蒸気の入受とバックアップ

発電所からの供給蒸気は人工島の入り口で計量する

表2 熱供給側設備概要

項目		現状の設備
熱源設備	設備の種類	容量×数量
	炉筒煙管ボイラ	22.3GJ/h×1台
	蒸気2重効用	11.4GJ/h×2台
	吸収式冷凍機	5.7GJ/h×1台
	電動式ヒートポンプ冷凍機	0.7GJ/h×1台
	"付属水蓄熱槽	150Ton×1基
水蓄熱槽	375m³×1基	
供給する熱媒体の条件	蒸気	供給蒸気: 170℃ 環水: 80℃
	冷水	供給: 6.5℃ 戻り: 13.0℃

(注: ボイラは増設の予定)

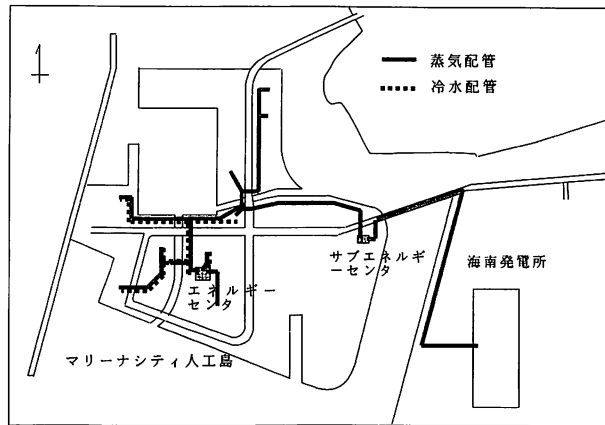


図-4 マリナーシティ熱供給配管敷設図

ようにサブエネルギーセンタを建設し、計量装置を設置した。同じ場所で発電所に戻す還水を計量するための計量装置も設置した。また、発電所の停止に備えてバックアップボイラを設置している。

#### (2) 蒸気配管

人工島内の蒸気管総延長は約1.8kmとなる。内365mはトレンチ内に敷設した。地中直埋設部分は保温材の保護のため二重管とした。温度による伸びは配管ルート of 的要所に設置した需要家配送用のピットを利用して伸縮継手を使って吸収した。蒸気の輸送途中で生じる高温の還水はインラインミキサで還水配管に戻している。ウォーターハンマを極力避けるため還水温度は80℃としている。

図-4にマリナーシティ熱供給配管敷設図を示す。

#### (3) 冷水配管

冷水配管の延長が出来るだけ短くなるよう島のほぼ中央部にエネルギーセンタを建設し、冷水製造設備を配置すると共にそこから供給することとした。また、埋設冷水管は建設費用を下げるため断熱工事を省略した。エネルギーセンタから遠方の需要家には、需要家機械室内に蒸気吸収式冷凍機を設置するメニューも用意している。

#### (4) 地盤沈下等の対策

供給地域全体が埋め立て地であることから、不等沈下量を60mmと推定し、配管と建物との貫通部では貫通穴と配管の中心を合わせず60mm偏芯させて据付している。また、エネルギーセンタ建物並びに供給配管サポートには基礎杭を打っていない。

客先側の中層建物は基礎杭を打ち込んであるものも有り、特に初期に建設された基礎杭のある建物と地盤

は若干の不等沈下が発生しているものの供給配管維持に問題となる量ではない。阪神淡路大震災の影響を受け、少し地盤沈下が進行したが、島全体に平均して沈下したので熱供給設備全体を見ても震災による不等沈下の影響は生じていない。

#### (5) 冷水製造設備

リゾート地の特殊性を考え、季節、昼夜の熱需要差に対応して効率よく運用する目的から少容量の冷凍機も導入すると共に、蒸気吸収式冷凍機冷水流量制御では50%モード運転が出来るよう配慮している。また、一部の蒸気吸収式冷凍機には冷却水の流量制御にインバータモータを使っている。

#### (6) お客様側受け入れ設備

お客様側受け入れ設備は客先の設計施工となるが、蒸気の受入設備として必ず熱交換器を設置し、灌水は返送して頂くようにしている。冷水用の熱交換器は設置条件にしていない。

マンション、ホテル等温熱需要が時間的に集中するお客様にはピークカットのため貯湯槽の設置を推奨している。

お客様との取引熱量データは処理計算機の電気的なノイズ混入による誤動作防止のため、マリナーシティ全体の光ファイバーLANを計算機の近辺まで配置し、LANを介して交信するようにしている。

## 2. 運用

冷水や蒸気の需要には気温、湿度の他お客さま来島人数見合いのところがあるのでシーズン、オフシーズンで需要に差異が出る。これを想定して供給設備の機器容量設計にも反映させたが結果として設計との大き

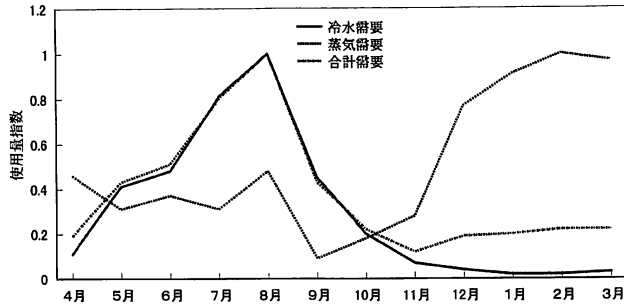


図-5 1年間の蒸気と冷水の需要推移

な乖離はなかった。

需要施設は大別して居住施設（マンション）、ホテル、商用施設、文化施設、ヨットクラブハウス、多目的ホール等となり、夏は冷水需要、冬は蒸気需要のピークが出る需要形態となったが、各施設とも冷水や蒸気の種別に応じ同じ様な需要傾向となっている。

催しものの有無でも需要が変動するので供給設備を効率よく運用するためには据付スペースの許す限り吸収式冷凍機の設備容量は細分化する方がランニングコスト面で有利であることもわかった。

図-5に1年間の蒸気と冷水の需要推移を示した。

### 3. 煤煙排出量低減

発電所の抽気を使用せずに汎用都市ガス炊きボイラで蒸気を賅った場合との比較では、窒素酸化物で97% ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ )、二酸化炭素で7% ( $\text{Ton}/\text{h}$ ) の削減となった。これは、排出ガス対策費用を熱販売料金に上乘せなければならぬ熱供給側としては非常に大きなメリットである。発電所側でも、総量排出量で微々たる増量で、むしろ、地域に貢献している面がアピール出来る。

### 4. 考察

システムのメリットは既に記述したが、熱供給の事業性を考察したとき、更に熱販売料金を安くする方策を考える必要が有る。一番の悩みは、熱搬送設備の建設費が嵩むことである。マリーナシティの場合、需要量を平面的に稼ぐ格好になっているので、搬送する熱量に比較し配管ルートが長い。需要量を建物の高さで稼ぐことが出来れば輸送配管が短くてすむ。また、輸送中の熱損失もばかにならない。保温効果を更に高めた低廉な保温材の開発、あるいは真空断熱等の保温効果向上技術の早期実用化が必要である。

昨今の景気の低迷による、あるいは地球温暖化の懸念から省エネルギー意識が働いて熱の需要が低下する傾向にあるのは歴然とした事実である、しかし、人々の生活の中から快適居住空間を否定する事は難しい。エネルギーを使いながら更なるエネルギー使用の効率化を図ることを考えると、この方式が日本型の熱併給型発電システムとして発展への布石になれば幸いである。

協賛行事ごあんない

金属学会セミナー 98年度企画

## 「未来自動車のゆくえ」

—電気自動車、ハイブリッド車、燃料電池における材料技術の最新動向—

〔開催日時〕 1998年12月3日(木)、4日(金)

〔申込締切〕 1998年11月25日(水)

〔開催場所〕 日本私学振興財団 5階講堂  
(千代田区富士見1-10-12)

〔申込先〕 〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉  
社団法人 日本金属学会

〔募集定員〕 150名

Tel 022-223-3685