

■ 展望・解説 ■

エネルギー負荷平準化対策に関する ヨーロッパ調査

Survey of Energy Load Leveling System in Europe

鈴木 胖*

Yutaka Suzuki



1. はじめに

エネルギー・資源学会の「エネルギー負荷平準化対策に関する調査研究プロジェクト」は、電力や都市ガス等のエネルギー種毎の負荷平準化の問題にとどまらず、広く社会全体についての負荷平準化を考え、資本の効率の利用ならびにエネルギーの有効利用をはかるにはどのような手段が有効かを調査研究することを目的として、平成8年4月から活発な活動を行っている。

わが国は個々の機器、プロセス等のエネルギー効率は世界の最高水準にあるが、例えば都市全体のエネルギー利用効率を見ると、いろいろと無駄が多い。この面ではとくにヨーロッパのいくつかの国や都市が一歩先んじている。今回は、この面でのヨーロッパの先進事例を中心に調査を行った。

エネルギー負荷平準化に関する関係者の関心は高く、計画時の予想を上回る多数の方が参加され、活発な調査活動を行うことができた。

2. 進化する地域暖房システムーデンマーク・コペンハーゲン大都市圏

2.1 デンマークにおける地域暖房の普及

ヨーロッパの中でも、デンマークはとくに地域暖房の普及が著しく、全土に拡がっており、地域暖房プラントの数は350ヶ所近くに上っている。

地域暖房のサービスエリアを拡大すると、一般に需要家の同時負荷率が低下し、熱源の有効利用と負荷平準化を達成することができる。デンマークの主要な都市圏コペンハーゲン (Copenhagen)、オーフス (Århus)、フレデリシア (Fredericia) 等では、地域暖房のサービスエリアを拡大するため、個々の地域暖房をつなぐ広域熱供給幹線が整備されつつある。

2.2 コペンハーゲン都市圏の広域熱供給システム

コペンハーゲン市の人口は約47万人、グレートコペンハーゲンと呼ばれる都市圏では約150万人になる。この都市圏の各自治体は、面的に需要家をカバーするローカル地域熱供給網を保有している。熱源はごみ焼却工場、一般の工場、熱併給発電所、それにピーク負荷対応の熱源プラントである。最近の顕著な傾向は熱需要の増大につれ大型の熱併給発電所が建設されつつあることで、発生する大量の熱を需要家に輸送することが必要になっている。このような背景もあってコペンハーゲン大都市圏では広域的に熱源と需要家を結ぶための広域熱供給幹線が整備されつつある。幹線の東半分をCTR、西半分をVEKSという会社が運営している。今回訪問したのはCTR社 (Metropolitan Copenhagen Heating Transmission Company) で、コペンハーゲン市および周辺の4つの自治体の共同出資会社である。

CTR社の熱供給幹線はコペンハーゲン市を取り巻く形で敷設されており、西端および南端ではVEKS社の幹線と接続されている。南へ行くと後に述べるアベドアー発電所がある。VEKS社はコペンハーゲンから西へ30kmの位置にあるロスキレ (Roskilde) までをサービス・エリアとする熱供給幹線会社である。CTR社の幹線全長は52km (口径250~800mm, 高温水125°C, 25bars), CTR社とVEKS社を合わせると総延長は150kmにもなる。なお、ロスキレは中世には政治の中心となった町で、ロスキレ大聖堂には歴代のデンマーク王と女王が葬られていることで知られている。

CTR社の本社を訪問し、熱供給幹線のコントロール・センターおよび、3ヶ所ある同社のブースタポンプ・ステーションの1つを視察した。このステーションは中央駅近くの公園の地下にあり、ブースタポンプのほか、熱交換ステーションも併設されている。

* 摂南大学工学部電気工学科教授
〒572-0074 寝屋川市池田中町17-8

3. アベドアー発電所

アベドアー熱併給発電所はデンマーク最大の電力会社である SK Power 社の最新鋭の微粉炭燃焼火力発電所である。熱電併給の場合電力215MW、熱330MJ/sec (総合効率92%)、発電のみの場合250MW (効率42%) の能力を持っている。

デンマークの家具・インテリアのデザインの良さは定評があるが、この発電所建屋のデザインも世界に類のないものであり(写真1)、斜線を利用して建物のボリュームを抑えるなど工夫がなされている。建屋は2つに分れており、手前はボイラとタービン発電機、脱硝装置、後は電気集塵器、脱硫装置等を収容している。脱硫装置は排煙を石灰水で洗浄し、有用な石膏を産出するもので、これは日本が世界に誇る技術である。

この発電所のもう一つの特徴は、地域熱供給用温水を貯蔵する巨大な蓄熱槽(写真2)を備えていることである。各タンクの容量は $22,000\text{m}^3$ で合わせて2,200MWhの熱を貯蔵できる。これは発電所の発生熱の6~7時間分に相当する大きさで、電気・熱の発生最適化、ピーク負荷装置の軽減など様々なメリットを引出すことができる。

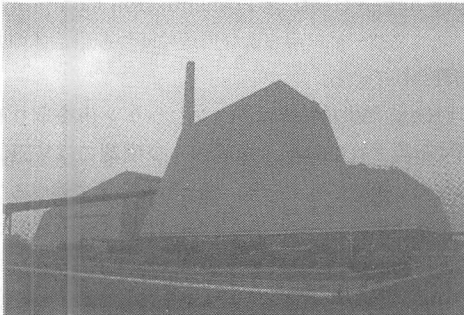


写真1 アベドアー発電所建屋

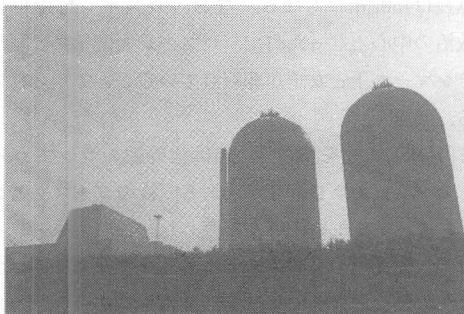


写真2 世界最大級の蓄熱槽 ($22,000\text{m}^3 \times 2$)

4. 未利用エネルギーの有効活用—スウェーデン・ヨーテボリ市

4.1 ヨーテボリの紹介

ヨーテボリ(Göteborg)は、スウェーデンの西海岸のほぼ中央に位置し、ストックホルムに次ぐ人口約45万の都市である。ヨーロッパ本土からスカンジナビア半島に車で行くには、ふつうデンマークの最北端のフレデリクスハウ(N Frederikshaven)に行き、そこからフェリーに乗ってヨーテボリに渡る。スウェーデンの西の玄関口にあたり、ヨータエルブ川の河口に開けた町である。かつては造船業が盛んであったが、現在はボルボやエリクソンなど自動車と通信機器の町に变身した。

4.2 地域熱供給システム

ヨーテボリ市の地域暖房は1950年代から始まっている。最初は地域ブロック毎に地域暖房が行われていたが、1980年代に入ってこれらを熱供給幹線で結ぶ工事が行われ、現在は市全域をカバーしている。地域熱供給システムはヨーテボリエネルギー公社によって運営されており、パイプラインの総延長は700kmに達し、町全体の熱需要の80%をカバーしている。

この特徴は地域暖房の熱源として石油精製工場(シェル)、下水処理場、ごみ焼却工場からの熱を活用していることで、1995年時点で地域暖房の66%(各その1/3ずつ)を賄っている。今回は下水から熱回収を行うヒートポンププラントおよびごみ焼却工場を視察した。ごみ焼却工場では蒸気タービンによる発電のほか、排ガス洗浄水からのヒートポンプ(低圧蒸気駆動)による熱回収など、プラント内各設備からの廃熱回収を徹底的に行って、地域熱供給に活用している。

5. 自然エネルギーの利用—スウェーデン・ウプサラにおける太陽熱季節蓄熱とバイオマス燃料による地域暖房

ウプサラ(Uppsala)は北欧で最も古いウプサラ大学(1477年創設)のある大学都市として知られている。ウプサラの町全体もウプサラ熱供給公社によって地域暖房が行われている。

ウプサラの北15kmのLyckeboにある太陽熱季節蓄熱プラントを見学した。これはスウェーデンの特徴である強固な岩盤に巨大なドーナツ形の洞窟(容積 $100,000\text{m}^3$)を掘り、ここに夏の間にソーラーコレクタで捕集した太陽熱を温水の形で蓄え、冬にこれを汲み出し

て550世帯の地域暖房に利用しようというものである。原理はそういうことであるが、実際にはコレクターは4,320m²しか設置されておらず年間熱需要(8,000MWh)の15%~20%しか賅えない。残りは6MWの電気ボイラによって供給されており、夏の余剰電力に依存する形になっている。岩盤蓄熱槽から熱損失は、周りの岩盤が温められるので徐々に減少してきており、現在は1,500MWh/年程度に収束してきており、ほぼ予測通りとのことであった。コレクタによる集熱量は年間1,300から1,600MWhなので、実際には太陽熱で蓄熱の熱損失を補うという形になってしまっていることが分る。

ウプサラからの帰途、南約20kmにあるバイオマス燃焼地域暖房プラントを見学した。新しいボイラが設置されたところでまだ試運転中とのことであった。燃料の木屑等は大型トレーラーで運ばれてきている。このプラントで660戸の住宅と60件の大口需要家に熱供給を行っているというから決してあなどれない設備である。

6. ごみ焼却工場が町のシンボル—ウィーン市

ワルト「青きドナウ」で知られるウィーンの町はドナウ川の西に広がっている。そのさらに西と北そして少し南にはウィーンの森が迫っており、スイスから続くヨーロッパアルプスはこのウィーンの森で終りになる。ウィーンは宮殿や教会など歴史的建造物と斬新で場合によっては奇抜な建物が混在する、見方によっては一風変わった町である。

ウィーンの北のターミナル、フランツ・ユーゼフ駅のすぐ側にあるSpittelauごみ焼却プラントは中でもその奇抜さにおいて群を抜いている(写真3)。デザインはオーストリアの著名な建築家で画家のフンデル



写真3 Spittelauごみ焼却兼地域暖房プラント、ウィーン

トバツァーによるものである。ウィーン市企業局の1部門であるウィーン広域暖房公社(FWW)に属し、ごみ焼却を行うと同時に熱供給も行うウィーンの町にとって欠かすことのできない重要なプラントである。年間26万トン(700トン/日)のごみ処理能力を持つ焼却炉2基と別に大型の地域暖房用ボイラ2基を備えている。排ガス処理、排水処理も徹底的に行われている。

FWWはヨーロッパでも有数の地域暖房会社で熱供給配管の延長は1次、2次合わせて750km、年間5,000GWh(1996年)の熱供給を行っている。主要な熱源は4ヶ所の熱供給発電所(うち1つは石油精製工場のもの)と3ヶ所のごみ焼却工場である。これらで全市の暖房需要の25%を賅っており、将来は30%に伸ばす予定である。

7. 水資源の季節貯蔵—オーストリア・カプルン揚水発電所

ウィーンの西約300kmにあるザルツブルグ(Salzburg)はモーツァルトの生家がある音楽の町として知られている。先史時代に岩塩の産地として栄え、ザルツブルグという名は“塩の城”という意味である。ザルツブルグの南には多くの湖水が点在するザルツカマーグート(Salzkammergut)がある。

ザルツカマーグートの西は東チロルの険しい山岳地帯で、この中をオーストリアの最高峰グロスグロックナー(Grossglockner, 3,798m)に通ずる山岳道路が南に伸びている。この山岳道路の北側の入口の西にカプルン(Kaprun)の村がある。この村から南へ谷を逆上って行った所にカプルン揚水発電所がある。これはグロックナー—カプルン開発と呼ばれるプロジェクトにより建設された。

Wasserfallbodenと呼ばれる標高1,672mにある下部貯水池(写真4)は8,100万m³の有効貯水量を有し、これはその下にあるKaprun Main Stage発電所(有効落差860m、水力220MW)の貯水池も兼ねている。上部貯水池は有効貯水量8,500万m³のMooserboden貯水池(写真5)が主力であるが、他に11.6kmほど南のグロスグロックナー氷河の直下にあるMargaritze貯水池(300万m³)がある。ともに標高2,000mの位置にある。下部貯水池ダムの下部にあるUpper Stage発電所は2基のフランシス水車発電機(総出力112MW)および2基の揚水ポンプ(総容量130MW)を備えており、年間2.5億kWhの電力を発電し



写真4 カプルン揚水発電所の下部貯水池

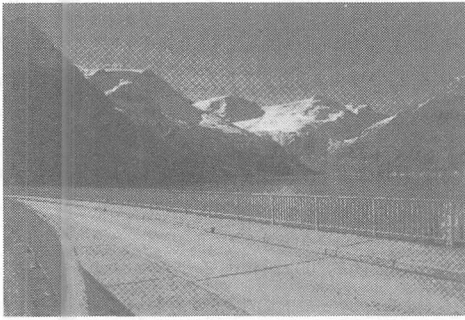


写真5 カプルン揚水発電所の上部貯水池, 白く光っているのは水河

ている。うち1億kWhが揚水により汲み上げた水を利用して発電したものである。

オーストリアの電力需要は冬ピーク型なので、夏場に豊富な雪解け水(氷河を含む)を余剰電力を利用して貯水池に蓄え、冬場のピークに使用するという年間レベルの負荷平準化を行うことがこの揚水発電所の主な目的となっている。

以上の発電所群はザルツブルグに本社を置く Taurnkraftwerke (TKW) 社の所有である。

8. 圧縮空気によるエネルギー貯蔵ードイツ・フントルフ圧縮空気貯蔵ガスタービン発電プラント

ガスタービン発電では、天然ガス等の燃料を高圧化して燃焼器に噴射し、圧縮空気と混合燃焼させ、高温・高圧の燃焼ガスをガスタービンに送り込んで動力を発生させ、タービンと直結した発電機を回転させて発電を行う。この場合ガスタービンで発生する動力の約半分は空気の圧縮に費やされる。

余剰の電力を利用してモーターで空気圧縮機を駆動し、得られた圧縮空気を高圧のまま貯蔵しておき、電

力が不足する時にこの圧縮空気を取り出して燃焼器で燃料と混合燃焼させる。その燃焼ガスをガスタービンに送り込めば、発電時の空気圧縮動力は不要になるので、発生した動力のすべてを発電に使うことが可能になる。

モーターと発電機を兼用とし、クラッチを介して片側はコンプレッサ、もう一方の側はタービンと直結しておく。電力の余剰時にはコンプレッサ側のクラッチをオン、タービン側のクラッチをオフにして、電力を供給してモーターを回転させ、発生した圧縮空気を貯蔵する。電力不足時には、コンプレッサ側のクラッチをオフ、タービン側のクラッチをオンにしておき、貯蔵しておいた圧縮空気を利用してタービンを回転させ発電を行う。問題は圧縮空気をどのようにして貯蔵するかである。

ドイツ・ハンブルグから西へ120kmのブレーメン、ここからさらに北西約30kmのフントルフ (Huntorf) のあたりの地下には、厚い岩塩層が存在する。岩塩は水に容易に溶けるので、地下に水を注入し、岩塩を溶かして水を回収すれば容易に地下に巨大な空洞を作ることが可能である。このような技術をベースにフントルフ圧縮空気貯蔵ガスタービン発電プラントが20年前に建設され、ここまで運用されてきている。

当初はピーク対応の発電所として使われていたが、電力会社の吸収合併により系統が広域化し、電力貯蔵用の揚水発電所が利用できるようになったので現在は緊急時のみに使われているとのことであった。現在は Prussen Elektra 社の所有となっており、近くのファルゲ発電所 (Kraft werke Farge) から遠隔操作されている。

地下の空洞は約15万 m^3 のものが2つあり、アベドアーの発電所の蓄熱槽一基が2.2万 m^3 であることを考

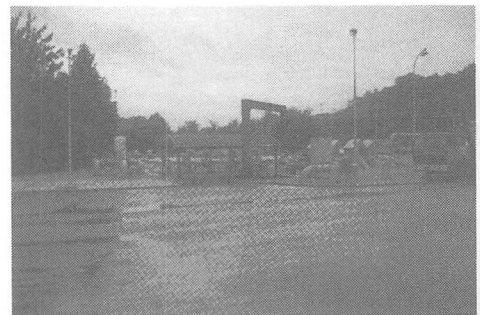


写真6 ベイネス地下帯水層利用天然ガス貯蔵基地、パリ近郊

えると、いかに巨大なものであるかが類推できる。地上の発電所は290MWの出力を持つにしては機器、建屋ともに非常にコンパクトにまとめられている。

9. 天然ガスの大規模地下貯蔵ーガス・ド・フランス

ガス・ド・フランス (Gaz de France, 略称GDF) はフランス全土をカバーする国営のガス会社である。ガス販売量は年間374億 m^3 (11,000kcal/ m^3 換算) で、これを国産天然ガス1割、パイプラインによる輸入天然ガス7割、LNGの形での輸入2割というおおよその内訳で賄っている。

このような事情から全土に天然ガス輸送パイプラインが張りめぐらされており、大規模な地下貯蔵が行われている。地下帯水層貯蔵が10ヶ所、岩塩層地下貯蔵が3ヶ所あり、総貯蔵可能量は約180億 m^3 に達する。

今回視察したのは、パリの西方約30kmに位置するベインス (Beynes) の帯水層を利用した貯蔵基地である (写真6)。この基地はフランスで最も古く1956年に使用が開始されたが、総貯蔵量は4.6億 m^3 で現在では全体の中で小型の基地となっている。深さも400mと比較的浅いところに設けられている。

10. おわりに

今回の調査では、短期間にもかかわらず、5ヶ国、9つの都市あるいは施設を視察・調査することができた。その内容もきわめて多彩であり、当調査研究委員会の活動にとって多くの有益な情報が得られた。詳細については本年3月に刊行された「エネルギー負荷平準化対策に関するヨーロッパ調査報告書」を参照されたい。

