

熱源システムの運転データを活用した省エネ運転方法の開発



関原 孝宣^{*1}



石澤 世順^{*2}



中谷 興司^{*3}

Development of Energy-Efficient Operation Methods for Heat Source Systems by Utilizing Operation Data

Takanori SEKIHARA^{*1}, Seijun ISHIZAWA^{*2}, and Koji NAKATANI^{*3}

^{*1} Chief Researcher, Environmental Engineering Unit of Research and Development Center of JR EAST Group

^{*2} Researcher, Environmental Engineering Research Laboratory, Research and Development Center of JR EAST Group

^{*3} Chief Researcher, Environmental Engineering Unit of Research and Development Center of JR EAST Group

Abstract

JR East consumes a large amount of energy at stations and nearby facilities, and is working on understanding energy usage and saving energy by introducing high-efficiency equipment and BEMS. In this paper, we devised an attempt to support the selection of optimal operation plans for heat source equipment to achieve further energy reduction.

●**Keywords:** Energy conservation, Demand forecast, Operational optimization, Equipment control

^{*}JR東日本研究開発センター エネルギー・環境ユニット 主幹研究員

^{*}JR東日本研究開発センター 環境技術研究所 研究員（現 JR東日本ビルテック株式会社）

^{*}JR東日本研究開発センター 環境技術研究所 主幹研究員（現 新潟支社 新潟機械設備技術センター）

1. 緒言

仙台駅をはじめとした一部の大規模駅では熱源設備を有しており、日々のエネルギー管理に注力しているが、今後はCO2排出量削減の観点でも一層の効率的な運用管理が求められる。これまで熱源機器の運用は、季節や気候によりあらかじめ決めた運用や時間に応じた機器選択と人による操作が中心であったが、設備の複雑化、エネルギー供給先の需要変動、世の中の情勢に左右されるガス・電気等の価格変動、契約や保守の制約をすべて考慮して時間ごとに最適な省エネルギー運用を人の経験等によって実施するのには限界があった。そこで、これまでの運用実績から需要に影響を与える要素を考慮し、熱源機器の効率、各種制約条件下で最適な熱源運転を支援し、日々の運転の中で簡易な判断条件によって熱源システムを運用する手法を新たに考案した。

2. 仙台駅エリアの熱源システム

本研究の対象である仙台駅エリアは、熱源機器を有して駅コンコースや事務室、駅ビル（S-PAL）、ホテルに対して冷温水や電気等のエネルギーを供給している。主な熱源機器は、都市ガスを利用して発電、排熱を活用するコージェネレーションシステム（以下「CGS」という）2台、CGSの排熱を活用して冷熱を製造する吸収式冷凍機（以下「AR」という）1台、ターボ冷凍機（以下「TR」という）3台などである（図1）。運用については、従来、人が需要を予測し、熱源機器等の運転を都度変更する方式であった。ここでは熱源システムに供給される購入電力やガスの契約上の制約、製造したエネルギーを供給する先の需要変動、設備の点検保守上の制約を加味した年間運転計画等、多岐にわたる条件を考慮しながらの運用を行っている。また、機器の運用指標としてCGSから発生する排熱を最大限活用することを主眼とし、CGSとARの組み合わせを主体とする運用を行っていた。

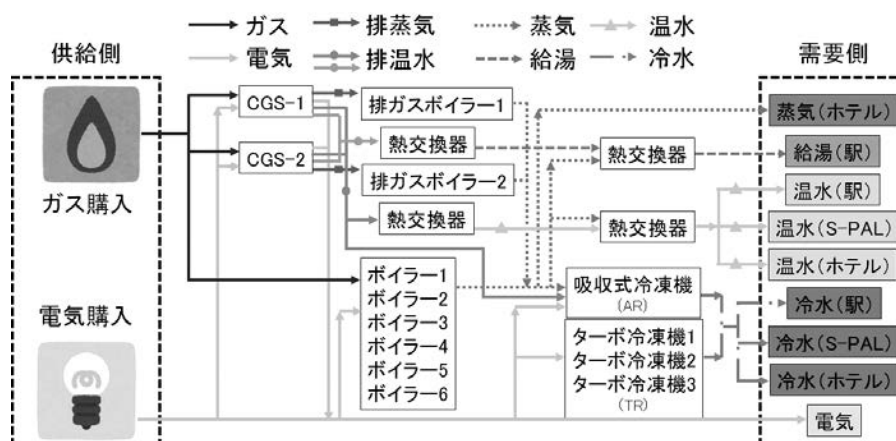


図1 仙台駅エリア熱源機器のエネルギーフロー

3. 省エネ運転方法のパターン化

3・1 過去の運用から得た知見

図2に、中間期（秋期）の需要先別の冷水需要状況および外気温との関係を示す。これによると、駅の需要量、駅ビルの需要量、ホテルの需要量の合計値と、外気温15℃、20℃、25℃で区分した場合の関係性が見て取れる。外気温が25℃を超える日は需要先3箇所の時間当たり需要が10～15GJ/hであることが多く、駅ビルの需要量が大きくなっている。一方15℃を下回る場合には、駅ビルの需要がほとんどなく5GJ/h以下であることが多い。外気温が20℃前後の場合は、需要量は概ね5GJ/hを超えるが最大量はほぼ10GJ/h以下であった。これら中間期における需要先の動向と供給する熱量を、外気温と需要先別に整理すると表1となった。そこで本研究では外気温に応じて供給熱量と熱源設備の運用方針をパターン化し、簡易な判断条件による熱源システムの運用を検討した。

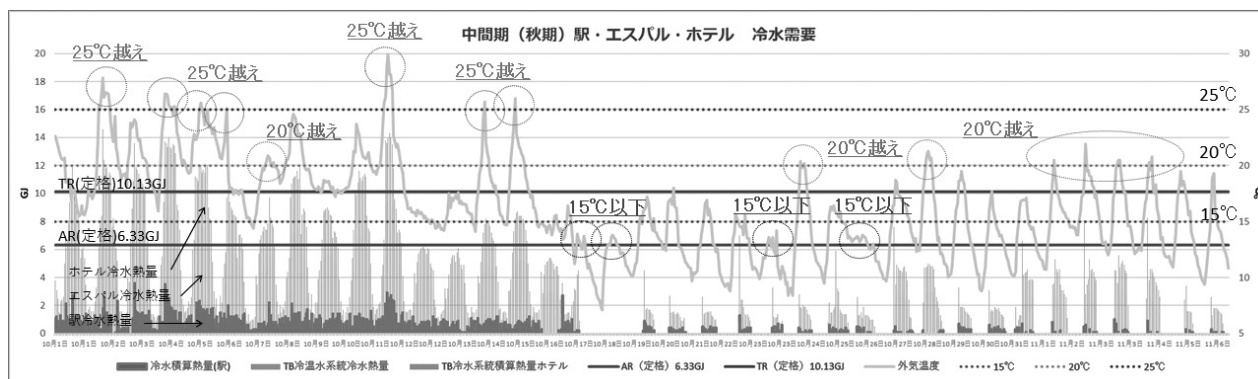


図2 中間期（秋期）冷水需要と外気温との関係

表1 需要先別の「外気温と供給熱量」の関係

外気温	駅	駅ビル	ホテル
～15℃	需要なし (0GJ)	需要なし (0GJ)	なし (0GJ) ～1GJ
15℃～20℃	1～2GJ	3～4GJ	1～2GJ
20℃～25℃	2～3GJ	4～5GJ	2～4GJ
25℃～	3～4GJ	6～7GJ	4～5GJ

3・2 省エネ運転方法パターン化

前項に示した最高外気温と需要量の関係性に着眼し、電気、ガス等の契約や保守等運用上の制約条件を考慮しながら、需要先の変動に応じた熱源機器の運用をパターン化した。最高外気温は当日の朝に発表される気象庁のデータを活用することとした。

これにより、省エネルギー、CO2削減効果が得られる運転を目指した。この考え方を基に作成した、需要先の熱供給要請に応じたCGSおよび冷凍機の運用パターンと運用当日の予想最高気温との関係を、マトリックスに表した(表2)。表中の色付き部は実際の運用で主に使われる領域を示す。ここで、冷凍機運用については、最高外気温が20℃～25℃(表中【b-③】等)では従来排熱利用のためAR中心であったが、高い効率で運用可能なTR中心の運用とした。これにより効率よいエネルギー供給を狙う。また、CGS運用では、冷水需要量が増える熱供給要請2箇所以上(表中【a-③、b-③】等)の時に、従来はCGS1台運用であったが、発電電力の活用と効率のよいTR中心の運用を狙い2台運転とした。

表2 需要先と予想最高外気温による熱源機器運用パターン

	区分【aa】 最高外気温 ～17℃以下	区分【a】 最高外気温 17℃超え～20℃以下	区分【b】 最高外気温 20℃超え～25℃以下	区分【c】 最高外気温 25℃超え
①全て要請なし 想定需要量0GJ	aa-① 【CGS】1台 【冷凍機】AR	a-① 【CGS】1台 【冷凍機】AR	b-① 【CGS】1台 【冷凍機】AR	c-① 【CGS】1台 【冷凍機】AR
②ホテル・エスパル・駅の いずれか1箇所 想定需要量0～3GJ	aa-② 【CGS】1台 【冷凍機】AR	a-② 【CGS】1台 【冷凍機】AR	b-② 【CGS】1台 【冷凍機】AR	c-② 【CGS】1台 【冷凍機】AR
③ホテル・エスパル・駅の いずれか2箇所 想定需要量3～10GJ	aa-③ 【CGS】1台 【冷凍機】AR	a-③ 【CGS】2台 【冷凍機】TR	b-③ 【CGS】2台 【冷凍機】TR	c-③ 【CGS】2台 【冷凍機】TR
④ホテル・エスパル・駅の 3箇所より要請 想定需要量10～15GJ	aa-④ 【CGS】2台 【冷凍機】TR	a-④ 【CGS】2台 【冷凍機】TR+AR	b-④ 【CGS】2台 【冷凍機】TR+AR	c-④ 【CGS】2台 【冷凍機】TR+AR

3・3 需要先と予想最高外気温による熱源機器運用における冷凍機稼働状況

表2に示したマトリックスを活用した需要先と予想最高外気温による熱源機器運用(以下「マトリックス運用」という)による設備の運用状況は、ほぼ同等程度の外気温および熱供給量であった2021年4月30日(最高外気温15時20.3℃、製造熱量最大3.1GJ/h)と2023年4月28日(最高外気温11時20.2℃、製造熱量最大3.3GJ/h)とで比較すると、従来運用時にはCGS1台、AR1台運転であったのに対し、マトリックス運用ではCGS2台、AR1台運転となった。従来運用ではCGS1台の排熱は最大限活用されていたが、ARを運転するためには熱量が不足し、これを補うために貫流ボイラーを追加で運転していた。このようなARおよびTRに着目した中間期(春期)の運用状況を図3に示す。外気温が17℃～25℃で、駅・駅ビル・ホテルいずれかの冷水需要が数GJ程度と低い場合に、CGS、AR又はTRの運用が混在している。これは需要の予想と変動に対し、機器の立ち上がりやすいTRと能力発揮が遅いARの切替え判断が難しい領域であることが考えられる。

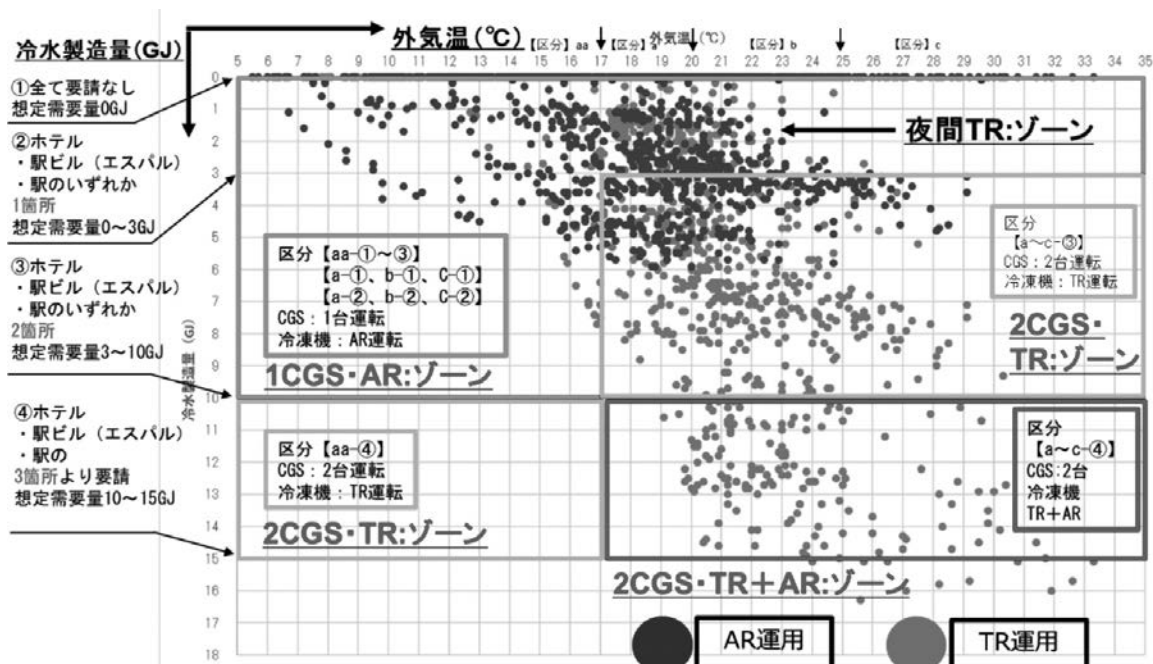


図3 マトリックス運用による冷凍機運用状況(2023年4月～6月)

4. CGS全体系の評価方法および実績

従来は、CGSの総合効率として排熱の活用度および発電コストを主に運用効率改善を繰り返し行ってきた。本研究では、システム全体系としてCO₂削減を図る観点から、全体系としての評価を試行することとした。また、評価方法についてもCO₂削減の観点から、効率に係る評価に代えて電力およびガスの購入エネルギーの単位当たりCO₂排出量、同システムの熱製造単価（エネルギーの供給単価）を指標として用いることで、系全体の評価に加えて年度単位の比較検討を行いやすいものとした（式（1）、式（2））。これら原単位による比較は、供給単価については購入エネルギー単価の変動を考慮する必要があるが、どちらも値が低いほど省エネ効果が高いといえる。

$$\text{単位CO}_2\text{排出量} \left(\frac{\text{kg-CO}_2}{\text{GJ}} \right) = \frac{\text{購入エネルギー (CO}_2\text{換算)} (\text{GJ})}{\text{供給エネルギー (GJ)}} \quad (1)$$

$$\text{システム熱製造単価} \left(\frac{\text{円}}{\text{GJ}} \right) = \frac{\text{購入エネルギー (コスト換算)} (\text{円})}{\text{供給エネルギー (GJ)}} \quad (2)$$

4・1 単位CO₂排出量およびエネルギー供給単価（実績）

図4に、中間期（春期）における従来運用、今回のマトリックス運用それぞれの1日毎の供給エネルギーにおける単位CO₂排出量のグラフを示す。表3は、供給熱量475GJ/日、525GJ/日における単位CO₂排出量のデータを示す。これによると従来運用と比べてマトリックス運用によるCO₂排出量が減少していることがわかる。また、供給熱量が増加すると単位CO₂排出量も減少する傾向であることがわかる。マトリックス運用ではCGSに供給する購入ガス量は増加したものの、CGSによる発電量が増加し購入電力量が減少し、ボイラーのガス消費量も減少した。その結果、同等のエネルギーを製造しながら購入エネルギーが削減され、単位CO₂排出量が減少することとなった。図5に各年度のエネルギー供給単価を示す。この単価は、ここ数年で大きく変動した物価上昇等の影響を除き電力、ガスの購入単価を同値として比較したものである。表4は、供給熱量475GJ/日、525GJ/日におけるエネルギー供給単価のデータを示す。従来運用と比較して525GJで8.7%、465GJで14.7%減少している。つまり、購入したエネルギーに対してマトリックス運用によって効率的な熱供給が行われていることがわかる。

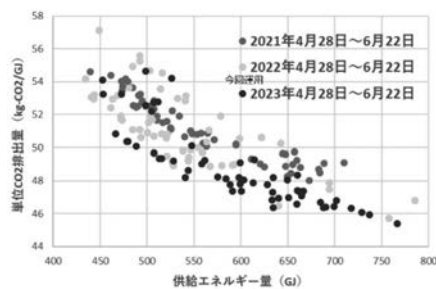


図4 供給エネルギー量に対する単位CO₂排出量

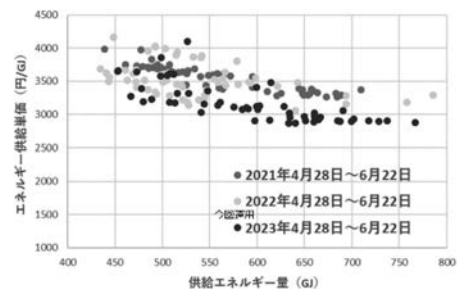


図5 供給エネルギー量に対する供給単価

表3 単位CO₂排出量の比較

	従来 (2021)	今回 (2023)	従来比
475GJ付近	54.18kg-CO ₂	50.35kg-CO ₂	▲7.1%
525GJ付近	51.51kg-CO ₂	49.34kg-CO ₂	▲4.2%

表4 エネルギー供給単価の比較

	従来 (2021)	今回 (2023)	従来比
475GJ付近	3,976円	3,393円	▲14.7%
525GJ付近	3,632円	3,315円	▲8.7%

5. 結言

本研究で実施したマトリックス運用による省エネ運転方法は、その日ごとに人による機器の運転操作を要するが、簡易的にCO₂およびコストとも削減できる可能性がある。検証の結果、各機器の制約条件のもと、系全体で最適となるようなパターン化した運用によって、運用管理に関する指標として単位CO₂排出量削減等の効果を確認できた。ただし、現状は既存冷凍機の冷水製造の運用、ガス・電気の詳細変動等、多くの条件が複雑に関係しており、本運用方法が長期的に省CO₂・省コストに寄与するとは限らず、常にガス・電気の詳細変動係数および単価等も把握しながら、需要先の需要動向にも注目して運用する必要がある。