

イオンモール草津の空気調和設備

Air conditioning system of AEON MALL Kusatsu

(株)竹中工務店 設計部設備グループ

Takenaka corporation, mechanical and electric division of design department

篠島 隆司

Takashi Shinojima

キーワード：サステナブル建築（Sustainable design of the building）、氷蓄熱（Ice Storage）、
カスケード利用（cascade control）、熱回収（Heat Recovery Unit）、
大温度差送水（Large Temperature Differential Supply System）



写真 1 西面外観（近江大橋より）

1. はじめに

イオンモール草津は、琵琶湖にかかる近江大橋を大津側から渡ってすぐという、2つとない立地の特徴をふまえ、地域と共生し自然にとけこんだ「エコショッピングモール」を目指したプロジェクトである。

外観デザインは、琵琶湖畔・田園風景に配慮した計画とし、また、環境配慮型照明デザインなどデザインと省エネの融合を図る計画とした。さらに、自然エネルギー利用、緑化等多くの環境配慮技術を導入した。またそれらをエコインフォメーション端末やパネル展示にてお客様に紹介し、環境への取組みの重要性をアピールしている。

本プロジェクトでは、「エコショッピングモール」を目指す上で、一般的に商業施設でのエネルギー消費量の約40%を占める空調エネルギーをいかに削減するかを考慮して、空調システム設計をおこなった。具体的には、空調の高効率運転に向けて、空調一次側に高効率冷水チラー＋氷蓄熱システムを採用した。加えて、空調二次側はFCUと外調機をシリーズに接続し、FCU冷房還り冷水を外調機にカスケード利用し、夏期は最大13度差に至る大温度差運転を実現し、冬期は外気冷熱回収による熱源製造熱量の削減および温熱源無しで外調機吹出温度16℃を実現するシステムを計画した。さらに1年間の運転実績を基に冷水カスケード利用による省エネルギーの効果を実証した。

2. 建物概要

建物名称：イオンモール草津

所在地：滋賀県草津市新浜町

建築主：イオンモール(株)

(熱源部分) 関西電力(株)

建物用途：店舗、駐車場

敷地面積：102,827 m²

建築面積：41,915.96 m²

延床面積：165,238.10 m²

構造・規模：SRC造、S造 地下1階、地上6階

工期：2007年11月～2008年11月



写真2 南面外観

3. 環境計画

地域と共生し自然にとけこんだ「エコショッピングモール」を計画するにあたり、まずは従前の土地を深く知ることから始め、植生調査や風向調査、対岸や近江大橋からの眺望確認により土地の特性を把握して配置計画、外装計画に反映させた。外観は、シンプルな形態の組み合わせを基本とし、ヴォリュームのずれや屈曲を利用して400mに及ぶ巨大な施設のスケールをやわらげようとした。外装色も信楽焼色をベースに駐車場階の建物上部を濃い茶色としてまわりの緑や風景になじむものとした。琵琶湖側はスロープをコンパクトに立体化し、再生木ルーバーでフィルターをかけ樹木越しに対岸から望めるようにした。地域に植生する約68,000本の苗木植栽をはじめ、従前の土地に自生していたチガヤやミズタカモジを圃場で育て、生きられる環境として里地ビオトープ(田んぼ)をつくりこの地に戻した。また、屋上緑化に琵琶湖の原風景をつくるチガヤを用いて太陽電池パネルの前庭に利用し、壁面緑化にも信楽緑化タイルを使用して可能な限りこの施設がこの土地にとけこむ工夫をした。サインもLED化を図るなど、景観的に配慮した。

モール空間は、吹抜部をつなぐブリッジ部分を階ごとにずらすことで、より変化に富んだ構成とし、上部から光を導くライトウェルをナイトページ用の換気口として利用しデザインと省エネ効果を両立させている。また、共用部の照度をこれまでより暗く設定し、照度のメリハリをつけることによって商業としての躍動感を守りつつ、専門店が際立つことで賑わいを演出した。また、エコインフォメーションを通し、子どもたちが遊びながら琵琶湖や自然、環境、エネルギーなどを学習できる環境教育を実践し、運用時での地域の活動やにぎわい創りに貢献できるよう配慮した。

サステナブル建築を目指す指針として、CASBEEを用い建物の品質を総合的に評価した。図1に、主要な配慮項目を示す。また、BEMSにより最適運用を行うとともに、十分な天井裏スペースの確保や更新時の機器搬出入ルート確保など、ライフサイクルを考慮した計画とした。これらのサステナブル建築を目指した設計により、CASBEEのSクラス認証(BEE=3.8)を取得している。

Q1 室内環境

モール吹き抜け部において、ライトウェル・ハイトサイドライトによる昼光利用を行っている。



照明制御

避難階段・従業員用WCにおいては人感センサーを設置。



喫煙の制御

建物は全館禁煙とし、各フロアに設けている喫煙所は個別に排気している。また、飲食フロア内も完全分煙を義務付けている。



Q2 サービス性能

ユニバーサルデザイン

安全・安心・快適に楽しんでもいただくため、ユニバーサルデザインを導入している。



広さ感・景観

天井高を4.3~5m確保し、吹き抜け空間を設け、開放的な空間形成とした。



信頼性



電力引込の二重化を図るとともに、電力・通信引込室を水害のおそれのない地上階に設置した。

Q3 室外環境(敷地内)

湖畔ビオトープ

昆虫や鳥類に食物を提供するエノキの大木を外部駐車場内に存続させた。



苗木植栽

地域に自生する苗木を、地域の皆さまとスタッフ3,000名で20,678本植樹した。



緑化ブロック

駐車場に緑化ブロックを設置。



エノキの保存

絶滅危惧種の保護



田んぼを復元し、絶滅危惧種ミズタカモシをはじめ、周りの植生を保全している。



信楽焼

琵琶湖の湖底土と信楽焼の3Dデータによるモニュメントやタイル等を作成。



LR1 エネルギー

太陽光の利用

シネコン屋上に190kWを設置。南側外壁に10kWを設置し、合わせて200kWを発電。



氷蓄熱システム

夜間の電力で製氷蓄熱し、昼間の空調に利用することで、電力負荷平準化に寄与。



LR2 資源・マテリアル

井水・雨水利用

トイレの洗浄水は井水・雨水を利用した中水を使用。



県産材のルーバー

屋上展望デッキには滋賀県産間伐材を利用したルーバーを設置



LR3 敷地外環境

風シミュレーション

風環境シミュレーションによる風害の予防と温熱環境の改善を図った。



除害設備

飲食店舗から出た排水をバイオ処理して、下水に流し、排水負荷を軽減。



壁面緑化

各エントランスに信楽産苔タイルを使用。



屋上緑化

建設地からあらかじめ採取したチガヤを育苗し、植栽している。



図1 サステナブル建築の主要な配慮項目

4. 空調システムの計画・設計

本プロジェクトでは、一般的に商業施設でのエネルギー消費量の約40%を占める空調エネルギーをいかに削減するかを考慮して、空調計画を行った。

まず、建築計画では、大きなガラス面は北側に配置し、南面のエントランスのガラス面には大庇を設置することで、空調負荷低減を図っている。さらに、非空調エリアであるバックゾーンを建物の外壁に配置し、熱負荷の大きい屋根面に2層の駐車場を配置するなど、外皮負荷の低減を図った。

内部照明については、超高効率照明と用途別の照度・色温度設定により、デザインと省エネを両立する計画とした。照明の大部分を占めるダウンライトを高効率セラミックメタルハライドとし、一部高天井はLED照明とした。モール空間は平均照度を500lxとし、従来の800lxと比べて明るさを控えた設定とした。従来の高天井照明を中止し、1階壁面からスポット

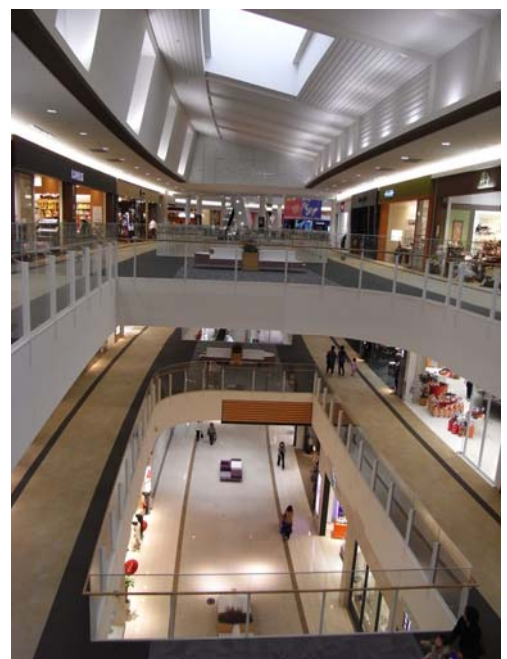


写真3 モール照明デザイン

ライトで照らして300~3000 lxの範囲でメリハリをつけ、専門店が際立つことで賑わいを演出した。また、天井面を照らして明るさ感を出し、ライトウェルにより昼光利用を行うなどの工夫を行った。これらにより、電気消費量を35%削減するとともに、空調の照明負荷を低減する計画とした。

空調システムは、セントラル空調方式と個別空調方式の組み合わせとした。個別空調方式は、飲食店舗や1階エントランス付近など、冬期暖房が必要なエリアおよびシネマコンプレックスやアミューズメントなど営業時間が他のエリアと異なる可能性のあるエリアに採用した。ショッピングセンターの熱負荷の特性により大部分は、セントラル空調方式の年間冷房とした。

セントラル空調方式の二次側システム構成は一般的なFCU+外調機とした。今回採用システムの特徴としてはFCUと外調機をシリーズにつなげFCUの冷水還りを外調機にカスケード利用することである。(図2)そのため、夏期はFCUの冷水還りの温度でも、夏期ピーク時の外気を冷やす能力があることに着目し、13度差の超大温度差送水とした。また、年間冷房のため冬期でもFCUは冷房運転をしているため、FCU冷水還り温度が高いことに着目し、外気利用による熱回収によって空調エネルギー削減を行うことができるシステムとした。同時に館内への外気は暖められ館内の快適性向上が期待できる。

熱源は、この超大温度差送水に適応するよう、超高効率冷水チラーWR (COP=6~8)の二次側に氷蓄熱システムの放熱用熱交換器を設けるシステム構成とした。これにより、WRは冷水温度が高いほど効率が向上するため、より効率が高くなる。

氷蓄熱システムは内融式とし、超高効率ブラインチラーBR (COP=2.8~6.5)による蓄熱、追い掛け運転とした。熱源はオールインバータシステムとして、熱源機をインバータスクルーチャー、補機のブラインポンプ、冷却水ポンプ、冷水2次ポンプはインバータ制御方式、冷却塔もファン台数制御とインバータ制御の組み合わせとした。一般的にインバータチラーは中間期等の部分負荷運転時にCOPが高いことが知られている。そこで、熱負荷に合わせていかに効率の良いポイントで行うかを検討した。今回採用したチラーは冷却水温度が一定の場合、70%部分負荷運転時においてシステムCOPが最も高効率であり、図3に示すように、チラーの追掛け運転

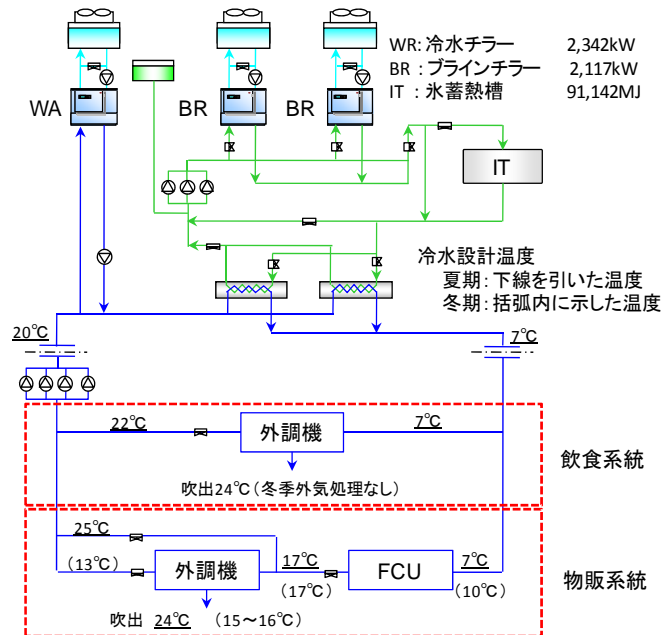


図2 熱源・空調システム系統図

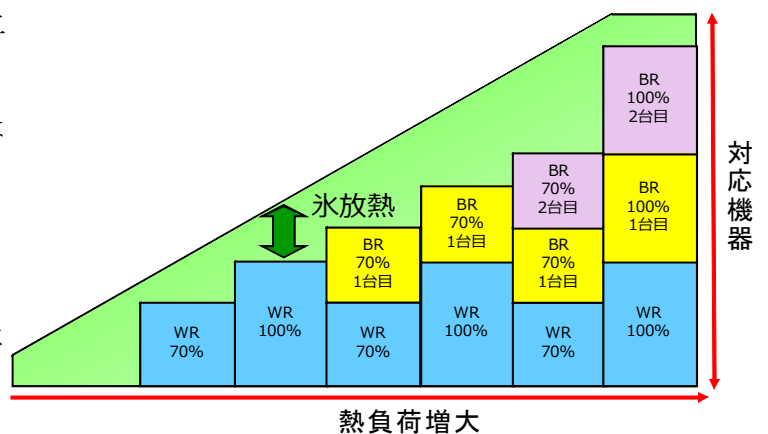


図3 COP優先運転イメージ

一般的にインバータチラーは中間期等の部分負荷運転時にCOPが高いことが知られている。そこで、熱負荷に合わせていかに効率の良いポイントで行うかを検討した。今回採用したチラーは冷却水温度が一定の場合、70%部分負荷運転時においてシステムCOPが最も高効率であり、図3に示すように、チラーの追掛け運転

を実施する場合は70%部分負荷運転を最優先し、熱負荷に応じて最も効率良く運転台数を制御するように計画した。最終的な負荷変動対応として、氷放熱を適用し、より確実な負荷追従運転を計画した。

5. 熱源・空調システムの運転実績と検証

月別製造熱量および、月別 COP を図4、図5に示す。年間を通じて夜間蓄熱運転を実施し、外気温度の上昇に応じた追掛け運転を行っている。年間の熱源システム COP は4.0 と高く、年間の電力夜間移行率は56%に達した。

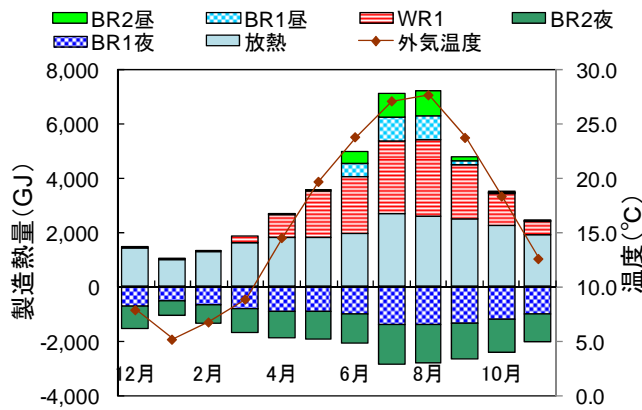


図4 月別製造熱量

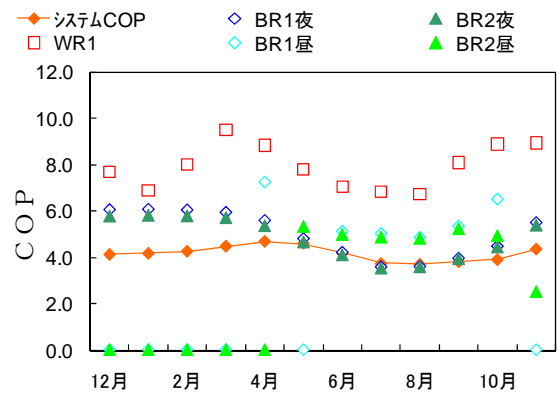


図5 熱源システム COP

また、超大温度差運用により、WRの冷水入口温度は概ね20°Cでの運用を行っており、一般的な空調システム（冷水入口温度15°C）と比較して、定格COPがそれぞれ20°Cの場合6.57、15°Cの場合は5.71であるためWRを高効率で運転でき、WRの消費電力は13%削減される結果となった。

夏期ピークの冷水温度実績値を図6に示す。冷水往還温度差が設計値通り13度差が確保できていることが分かる。また7°C送水冷水がFCUで熱交換された後、外調機でも熱交換され20°Cで還水されている。一般的な大温度差システムと比較し冷水二次ポンプ消費電力量が50%低減できていることがわかった。図7に負荷変動と冷水二次ポンプ消費電力量の関係を示す。外気温の上昇に従って、熱源の消費電力量が相似的に増加しているが、大温度差送水により、冷水二次ポンプ消費電力量は熱源システム全体の7.6%と少なく、年間の変化も非常に少ないことがわかる。

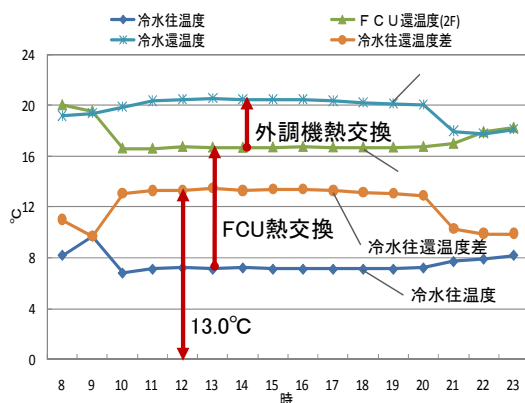


図6 冷水温度 (2009.7.14)

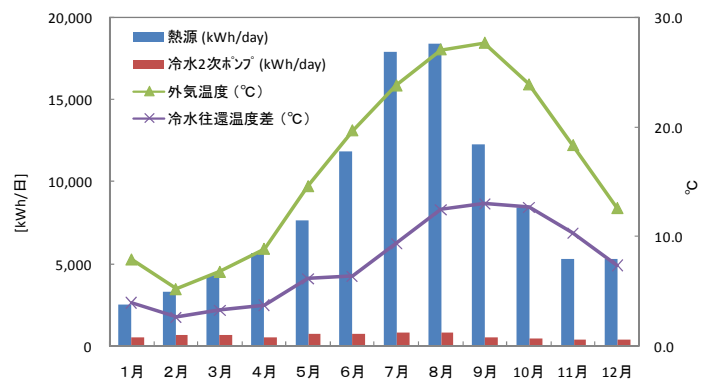


図7 負荷変動と冷水二次ポンプ消費電力量比較

図8に冬期代表日（平均外気温度 3.9℃）の外気温度と各系統別外調機給気温度を示す。FCU と外調機をシリーズ接続している系統は外気より約 10℃昇温されて館内に給気され、設計値 15～16℃で給気を実現し、温熱源を有していないにも関わらず、室内温熱環境が向上していることが分かる。冬期の実績で、どの系統も外気より 8～10℃昇温されることが確認できた。

図9に冬期代表日の二次側冷水負荷熱量とFCU 負荷熱量を示す。二次側負荷熱量よりもFCU 負荷熱量が大きな値を示している。この差が外調機による冷外気から冷水への外気冷熱回収量であり、28%の熱源処理量を外気より熱回収できたことがわかった。

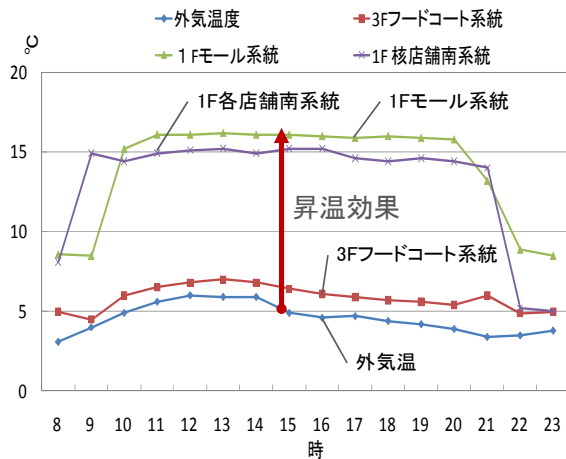


図8 冬期代表日外調機給気温度（2008.12.31）

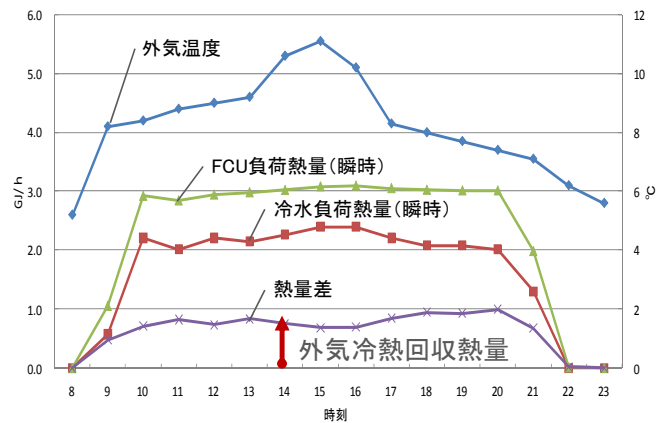
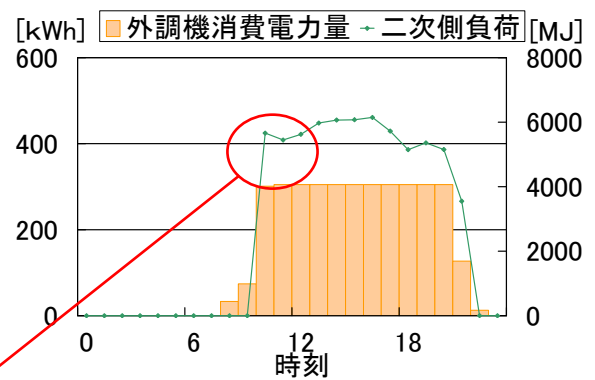
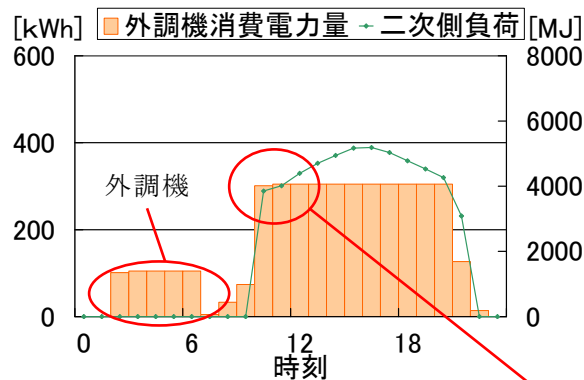


図9 二次側冷水・FCU 負荷熱量差（2009.1.5）

また、昼間の冷房負荷を軽減するため、夜間の外気温度が低い時期に夜間に外気を導入するナイトパーージ運転を行っている。本計画では、外調機による給気、自然のナイトパーージ運転とした。

冬期の外気温度がほぼ等しい日を選んで、ナイトパーージを利用している代表日と、していない代表日について、図10に外調機消費電力量と二次側負荷を比較した。グラフでの比較から、ナイトパーージの有無により、立ち上がり時の負荷が軽減できていることが分かる。実測値より、ナイトパーージ有りの場合の二次側負荷量は、ナイトパーージ無しに比べ、11,978MJ/日 低く、18%の低減となった。ナイトパーージを行うことで、夜間の外調機運転が必要となるため、外調機の日消費電力量は増加するが、負荷低減分の熱源日消費電力量の低減を考慮すれば、消費電力 950 kWh/日の削減となる。



ナイトパーージによる立ち上がり負荷軽減

図10 ナイトパーージ有無による負荷軽減比較)

6. 建物の消費エネルギー実績

2009年における一次消費エネルギー実績は、 $1,849\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{年}$ となり、一般的なショッピングセンターに比べて38%削減した結果となった。(図1-1) また、 CO_2 排出量実績は $105\text{kg-CO}_2/\text{m}^2\cdot\text{年}$ (原単位 $0.555\text{kg-CO}_2/\text{kWh}$ にて試算)であり、高い省エネルギー性能、低環境負荷性能を有していることが確認された。

竣工後、BEMSにより各用途別の計量・計測値の分析を行い、システム効率評価を行ったうえで、建築主、設計者、設備管理での、毎月のコミッショニング会議を活用した効率運用の効果も高かったと考えられる。年間エネルギーの目標値として、熱源システムにおいては、COPが4以上を設定し、エネルギー消費量の目標管理を行った。実績値を用いて運転状況のデータ分析を行い、分析結果による送水温度等の設定変更を繰り返し最適な運転を探った。その結果として、年間を通じた最適運転指標を示すことができ、COPの目標値を達成することができた。こうした試みにより空調システム全体の効率運用だけでなく、建物全体の省エネ運用が実現できた。

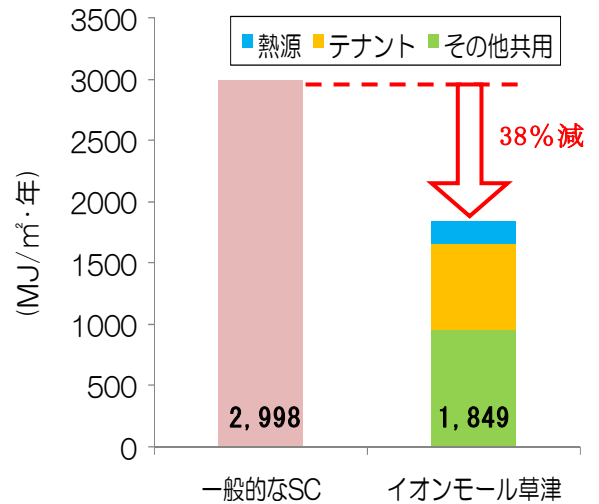


図1-1 一次エネルギー消費量実績

7. おわりに

本計画では、空調負荷を低減する建築計画や空調システム設計に始まり、BEMSの採用や竣工後のコミッショニング会議の開催など、計画・設計・運用に至るまでエネルギー削減、高効率運転に取り組めるシステム作りを行ってきた。その中でも、熱源運転パターンやシステムCOPなどの目標値を設定し、運用データと比較しながら最適率運転を目指すことで、高い省エネルギー運転に貢献できたと考えている。本建物が、今後の大型ショッピングモール計画の参考になれば幸いである。

最後に、本建物の設計・建設・運用にあたり、建築主をはじめとする多くの方にご指導、ご支援をいただき、紙面をお借りして厚くお礼申し上げます。