

エネルギー関連技術

Energy Engineering Technologies in the Architectural Field

塩谷 正樹

I. はじめに

サステナブルな社会インフラの実現のためには、省エネルギーの達成や再生可能エネルギー利用が必須である。エネルギー関連技術は多岐にわたる分野であるが、本報では建築関連技術として、①ZEBに関連する省エネルギー技術、②再生可能エネルギー利用技術、③さらには近年注目されているスマートエネルギーネットワークに関する最新の技術動向を概括するとともに、当社における研究開発の現況と今後の展望について報告する。

II. 省エネルギー技術

近年、低炭素社会実現の要請や電力需給逼迫の社会情勢を受け、建物の運用段階での一次エネルギー消費量を限りなくゼロにするゼロエネルギービル（以下、「ZEB (Zero Energy Building)」）が注目されている。経済産業省では2030年までに全新築建物のZEB実現を目標に掲げている。ここでは、究極の省エネルギーとしてZEBを取り上げ、その達成のために必要な省エネルギー技術を概説するとともに、ZEBの実現性に関する検討事例を紹介する。

1. ZEBの定義

経済産業省はFig.1に示すようにZEBを定義している。これによると、①再生可能エネルギーを除き、基準一次エネルギー消費量の50%以上が削減され、かつ②再生可能エネルギーを加えて、基準一次エネルギー消費量の100%以上が削減される建物と定義される。

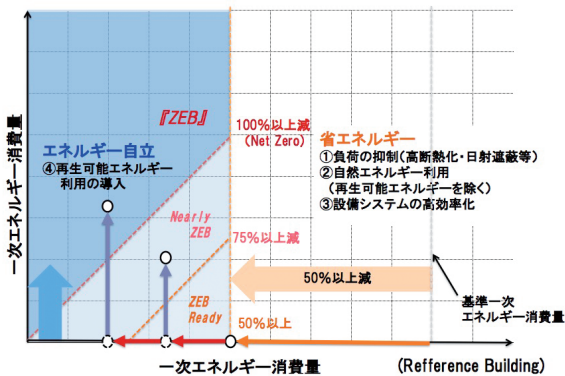


Fig. 1 ZEBの定義 (出典：資源エネルギー庁報告書)
(Definition of Zero Energy Building (ZEB))

2. ZEB実現に向けたケーススタディ

ZEBを実現するには、Fig.2に示すように4つのプロセスがある。第一のプロセスは「エコデザイン」である。これは、建築意匠と一体になったファサードデザインによる日射遮蔽、断熱などで空調負荷低減を図るとともに、高効率な熱源・空調システムの採用で省エネルギーを図るものである。第二のプロセスは「エコワークスタイル」である。これは、オフィス活動の空間的、時間的な変化に応じて空調や照明を柔軟に制御し、快適性、知的生産性と両立しつつ省エネルギーを図るものである。第三のプロセスは「エネルギーマネジメント」である。これは、BEMS (ビルエネルギー管理システム)

の活用などにより、運用段階での建築設備の最適チューニング、省エネルギー診断などを行いながら建物の省エネルギー性能向上を図るものである。第四のプロセスは「再生可能エネルギー」である。これは、「エコデザイン」「エコワークスタイル」「エネルギーマネジメント」などの取り組みでは達成できないエネルギー消費量低減を、太陽光発電、太陽熱、地中熱などの再生可能エネルギーで補うものである。本報では、従来の省エネルギーに加え、先進的な省エネルギー技術、再生可能エネルギーの活用などによるZEB実現の可能性をケーススタディにより検討した結果を示す。

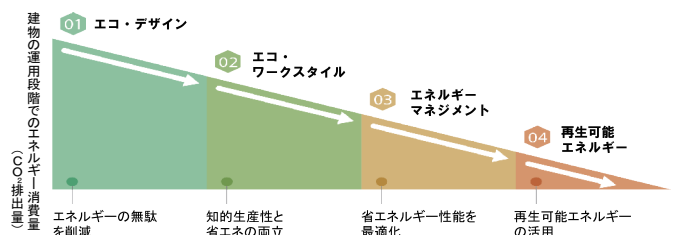


Fig. 2 ZEB実現のためのプロセス
(4 Processes to Realize ZEB)

(1) モデルビル概要

東京に立地する中規模・低層 (2000 m²×5階) の郊外型オフィスを想定した。Fig.3にモデルビル基準階平面図および建物概要を示す。

a. 計算概要

計算は、当社開発のエネルギーネットワーク計画ツールENE-ST[®](III章で詳述)を用いて行った。計算ケースは4ケース設定した。Case0は一般的な事務所を想定した「基準ケース」、Case1は建物の断熱性能を向上し、省エネルギー設備を採用した「省エネケース」、Case2は再生可能エネルギーを有効利用した「再生エネ利用ケース」^{注1)}、Case3は将来技術を含めた「先進省エネケース」である。

b. 建物仕様

Case0に対してCase1, 2, 3は高断熱な仕様とし、窓性能や面積率、庇の有無など変更した。

c. 空調計算条件

Table 1にケース毎の計算条件を示す。気象条件は拡張アメダスデータの標準年気象データ(東京)を用いた。年間244日稼働とし、土日祝日は休業とした。ワークスタイル・内部発熱条件として実態に即した想定とするため、設計時と運用時の稼働時間、設定温度、発熱条件を変更した。Case2では明るさ感評価に基づく照明発熱の削減、Case3では更に高効率LED照明、シンククライアント・パソコンの利用による内部発熱の削減を想定した。

d. 空調方式

4ケースともセントラル熱源システムとした。Case0, 1について各階はペリメータ4ゾーン、インテリア2ゾーン、ホール1ゾーンとし、各ゾーンに空調機を設置した。Case2, 3は上記の各ゾーンに放

射パネルを設置した(敷設率65%)。Fig. 4にCase2, 3のシステムイメージを示す。水熱源ヒートポンプ(以下, WHP)の熱源として冷却塔(以下, CT), 地中熱交換器(以下, GHEX), ソルエアヒートポンプ(以下, SAHP)がある。二次側には天井放射パネルが設置され, 外気処理は空冷ヒートポンプ(以下, AHP)とエアハンドリングユニット(以下, AHU)により行った。

(2) 計算結果

Fig. 5にCase2の熱源廻りの計算結果を示す。WHP冷温水出口温度は冬期28℃, 夏期15℃とした。冬期は立ち上がり時に負荷が大きくWHP熱源水出口温度が12℃を下回ったため, SAHPとGHEXの直列運転で集熱を行う場合がみられた。熱源の出入口温度差は6℃程度, 熱源システムの期間平均COP^{注2)}は6.4であった。夏期は熱源水出口温度が約30℃, 冷却塔出口で27℃程度, 地中熱出口で25℃程度まで冷却することにより熱源システムの期間平均COP^{注3)}は8.9であった。夜間は地中熱出口温度が22℃を上回ると, SAHPが稼働し地中を冷やす制御が機能している。放射パネルとの組み合わせで, フリークーリング(以下, FC)の運転期間は約4ヵ月と長く, FC利用時の期間平均COP^{注4)}は22.1であった。Fig. 6に, Case0~Case2の一次エネルギー消費量の比較を示す。建物全体の一次エネルギー消費量(太陽光発電量含む)はCase0に対してCase1は60%, Case2は38%, Case3は20%であった。Case2は放射空調による熱源送水温度上昇・室温緩和と地中熱による熱源水温度の冷却により熱源の効率が上昇し, Case1に対して空調関連のエネルギー消費量が61%減, 年間システムCOPは7.5となった。Case3は室内負荷が小さいため部分負荷運転が多くなり, Case2に比べてシステムCOPが低下した。設計容量から適切に見直す必要がある。しかし, Case3はLEDやシンクライアントの採用により照明コンセントがCase2より39%削減, 太陽光発電効率のアップにより15%のエネルギー消費量削減が図れた。

(3) ZEB実現の可能性

ZEBに向けた再生可能エネルギーの活用に関するケーススタディを実施した。この結果, 先進的省エネルギー技術の導入や今後の技術革新さらにはワークスタイルの見直しなどによりZEB実現の可能性が示唆された。当社技研研究本館研究棟は基準ビルに対する一次エネルギー消費量低減50%の「ZEB Ready」を達成しているが, 現時点では, 大規模な太陽光発電を導入しなければ消費エネルギーゼロの「net ZEB」を実現することはできない。今後, 経済合理性の高い技術の中で早期に提供できそうな省エネルギー技術を物件適用を通じて汎用化していくことともに, 「net ZEB」を目指した省エネルギー技術の開発推進が必要である。

【注釈】1) 再生可能エネルギーを利用したケースは地中温度が安定するように3年間計算を行い, 3年目の値を採用した。2) COP=二次側供給熱量/(熱源+一次ポンプ+地中熱ポンプ+SAHP+SAHPポンプ消費電力) 3) COP=二次側供給熱量/(熱源+一次ポンプ+冷却塔ファン・ポンプ+地中熱ポンプ+SAHP+SAHPポンプ消費電力) 4) COP=二次側供給熱量/(冷却塔ファン・ポンプ消費電力+二次側ポンプ消費電力)

III. 再生可能エネルギー利用技術

再生可能エネルギー資源(Renewable Energy Resources)とは, 枯渇性エネルギー資源(化石エネルギー資源)に対する用語である。「エネルギー供給構造高度化法」^{注5)}では, 「エネルギー源として永続的に利用することができる」と認められるものと定義されている。

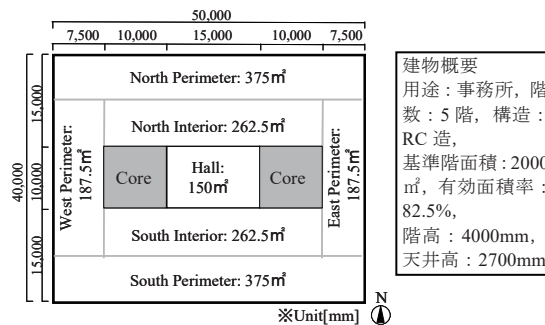


Fig. 3 基準階平面図および建物概要 (Typical Floor Plan and Building Outline)

Table 1 ケース毎のシステム概要・運用条件 (System and Operation Conditions of Each Case)

CASE	0: 基準	1: 省エネルギー	2: 再生可能エネルギー利用	3: 先進的省エネルギー
ファサード	PAL=300		PAL=161	
熱源システム	空冷HP300kW×4台 COP=3.2	空冷HP240kW×4台 COP=4.0	水冷HP470kW×2台 COP=11.0 冷却塔567kW×2台 空冷HP265kW×2台 COP=4.0(外調用)	空冷HP265kW×2台 COP=6.0(外調用)
空調システム	ペリメータVAV(最低0.8) インテリアVAV 外調機VAV	放射空調(敷設率65%) 1072m²/Floor 外調機VAV		
搬送システム	全熱交(換気回数>10回/h) VVV(台数制御, 最低水量 0.5, Δt=5℃)	全熱交(換気回数>7回/h) VVV(台数制御, 最低水量 0.5, Δt=7℃)	VVV(台数制御, 最低水量0.5, Δt=5℃)	
人体発熱		0.1人/m²		
照明発熱	16W/m²	12W/m²	10W/m² 明るさ感	8W/m² 明るさ感+高性能LED
機器発熱		10W/m²		5W/m²(シンクライアントPC)
ワークスタイル			8:00~22:00	夏期28℃, 中間期24℃, 冬期20℃
再生可能エネルギー		なし	PV945m²(発電効率14%) SAHP35台 地中熱コイル28m144本	PV945m²(発電効率25%) SAHP35台 地中熱コイル28m144本

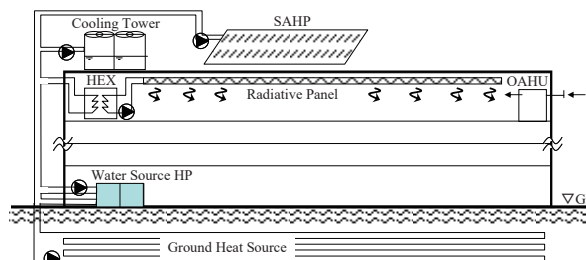


Fig. 4 再生可能エネルギー利用システム (Case2, 3) (System Concept using Renewable Energy (Case2, 3))

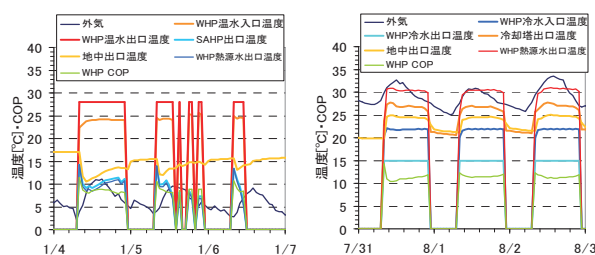


Fig. 5 熱源廻り計算結果 (Case2 左:冬 右:夏) (Calculation Results of Heat Source System Left: Winter Right: Summer (Case2))

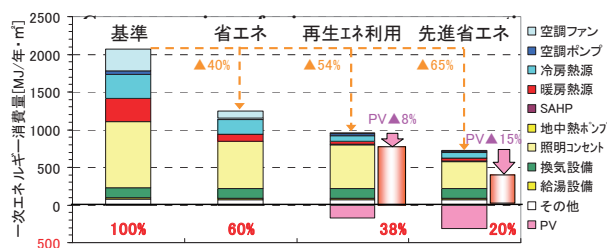


Fig. 6 各ケースの一次エネルギー消費量の比較 (Case Comparison of Primary Energy Consumption)

2015年度の長期エネルギー需給見通しでは、再生可能エネルギーには、①太陽光、②風力、③水力、④地熱（地中熱含む）、⑤太陽熱、⑥大気中の熱その他の自然界に存する熱、⑦バイオマス（動植物に由来する有機物であってエネルギー源として利用することができるもの）の7種類が規定されている。本稿では、再生可能エネルギーに関する政策および市場動向を概括した上で、当社独自の再生可能エネルギー関連技術について紹介する。

【注釈】5)電気やガス、石油事業者といったエネルギー供給事業者に対して、太陽光、風力等の再生可能エネルギー源、原子力等の非化石エネルギー源の利用や化石エネルギー原料の有効な利用を促進するために必要な措置を講じる法律。

1. 再生可能エネルギーに関する政策動向

想定以上の太陽光発電の大量導入による消費者への電気料金の転嫁、電力系統の逼迫、原子力発電所の再稼働、電力自由化の進展、長期エネルギー見通し（エネルギーミックス）の確定など、2012年の固定価格買取制度開始からの3年間で再生可能エネルギー（電気）を囲む環境は大きく変化しつつある。経済産業省では再生可能エネルギー政策の抜本的な見直しを行い、2016年5月に「エネルギー革新戦略」を策定した。この中では、2030年における電源構成に占める再生可能エネルギーの割合を22~24%と現状の約2倍とする目標を掲げている（Fig. 7）。また、2016年5月に策定された「エネルギー基本計画」では、現状の日本の最終エネルギー消費量の過半を、熱利用を中心とした非電力の用途が占めているため、エネルギー利用効率を高めるには、より効率的な熱利用が重要であり、太陽熱、地中熱、河川熱、下水熱等の再生可能エネルギー熱の効果的活用に関する取り組み強化の必要性が示されている。

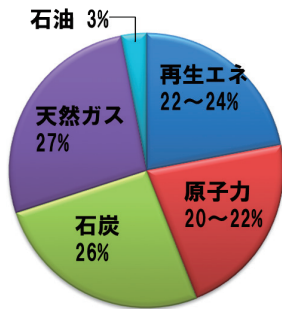


Fig. 7 日本における電源構成目標（2030年時点）
(Power Source Structure in Japan, 2030)

2. 再生可能エネルギー（熱）利用技術

(1) ReHP® (Renewable Energy Heat Pump System:リヒーブ)

ReHPは、建物周囲の太陽熱、空気熱、地中熱、水熱など複数の再生可能エネルギーを熱源として利用する高効率なヒートポンプシステム（以下、HP）である。複数の再生可能エネルギーを熱源としているため、空気熱源HPシステムに比べて30%以上の消費電力量を低減できる。本システムは、再生可能エネルギーを利用した熱源ユニット（ソルエアHP、高密度地中熱交換器など）および室内の空調・給湯用熱源HP、そしてそれらを結ぶ水ループで構成される。以下に、主要な適用事例と運転実績を示す。

(2) 2棟間の熱融通への適用事例

製薬会社の研究所において、研究棟からの冷凍機排熱を、ReHPを介して隣接する共有棟（Fig. 8、延床面積約3,600㎡）に融通するシステムである。2棟での熱融通の概念をFig. 9に示す。Fig. 10に示

すように、2015年9月~2016年3月におけるエネルギー消費量の実績は空冷HPシステムに比べて最小で21.6%、最大で36.9%の削減となった。上記実績に基づき、EnE-STを用いてCO₂削減効果を試算し、空冷システムと比較した結果、30.9%の削減（△54 t-CO₂/年）となった（Fig. 11）。

(3) 浄水場における河川水熱利用への適用事例

浄水場管理棟（地上3階、延床面積1960㎡）の空調用熱源HPの熱源として河川水熱、地中熱、ソルエアHPを利用した事例である（Fig. 12）。Fig. 13に示すように、計画時点でEnE-STを用いて年間の熱源水処理熱量を試算した結果、浄水場の河川水熱で全体の91%が供給可能と試算された。適用建物である管理棟の最大空調負荷は220kWと比較的小規模ながら、再生可能エネルギーのみによる全館の空調を実現している。想定負荷ベースの試算では、ランニングコストは空冷システムに比べて30.9%の削減となった（Fig. 14）。



Fig. 8 建物外観
(Outline of Building)

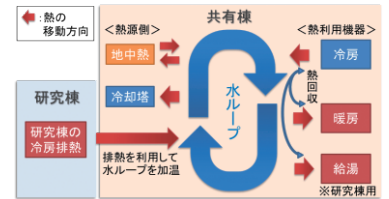


Fig. 9 2棟間熱融通の概念
(Concept of Thermal Interchange)

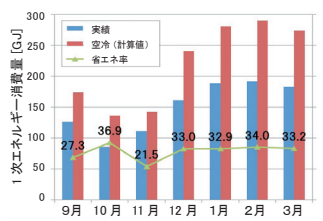


Fig. 10 エネルギー消費量実績
(Energy Consumption Results)

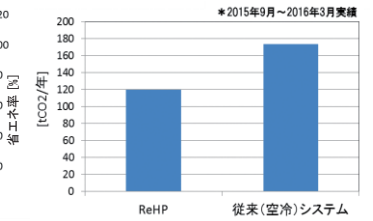


Fig. 11 CO₂排出量の実績
(CO₂ Emission Result)

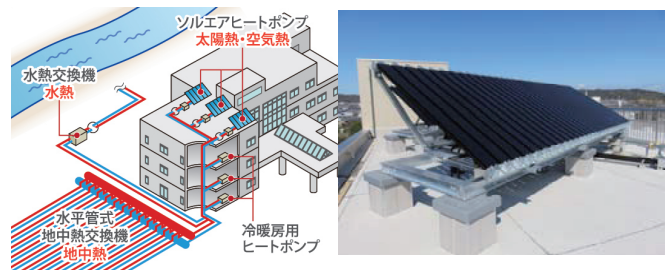


Fig. 12 浄水場における河川水熱利用
(Thermal Utilization of River Water at Purification Plant)

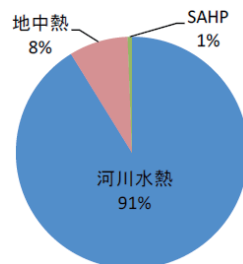


Fig. 13 年間熱源水処理熱量内訳
(Annual Heat Load Breakdown of Heat Source Water)

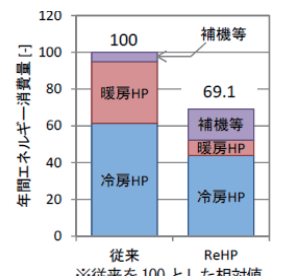


Fig. 14 年間エネルギー消費量
(Annual Energy Consumption)

3. 再生可能エネルギー（電気）利用技術

ここでは、再生可能エネルギーの電气的利用技術として太陽光発電に関する当社の研究開発の取り組みと今後の方向性を考察する。

2012年の固定価格買い取り制度（FIT：Feed-in Tariff）導入に伴いメガソーラと呼ばれる1MW以上の大規模発電施設の建設事例が増加している。しかし、FIT 価格の引き下げにより新規建設市場の拡大が減速し、今後は運転・維持管理（O&M）市場に移行することが予想される。将来の市場動向を鑑み、「メガソーラの故障劣化診断技術の開発」を進めている。これは、黒川（元東工大）らが開発したSV法と呼ばれる太陽光発電の損失パラメータを分離する手法で、運転データに基づくPVの故障、長期劣化に関する診断が可能である。

以下に、太陽光発電システムの損失パラメータを分離・定量化するSV法を用いたメガソーラの故障劣化診断手法の概要と、当社設計施工のメガソーラを対象に、運転データを用いて損失パラメータを分離した結果に基づき故障劣化診断を試行した例を紹介する。

(1) SV法の概要

SV（Sophisticated Verification）法は、太陽光発電の発電損失パラメータを分離・定量化できる手法である。Fig. 15に示すように、30日程度の比較的まとまった期間のデータを対象にした処理により、影や汚れなど明確な損失因子を分離し除去できるため、故障原因の把握や経年劣化分析が可能である。SV法で分離できる主要な損失パラメータは以下のとおりである。

- ・アレイ温度上昇による損失　・日陰による損失
- ・直流回路抵抗による損失　　・入射角による損失
- ・負荷整合損失（主としてインバータのミスマッチによる）

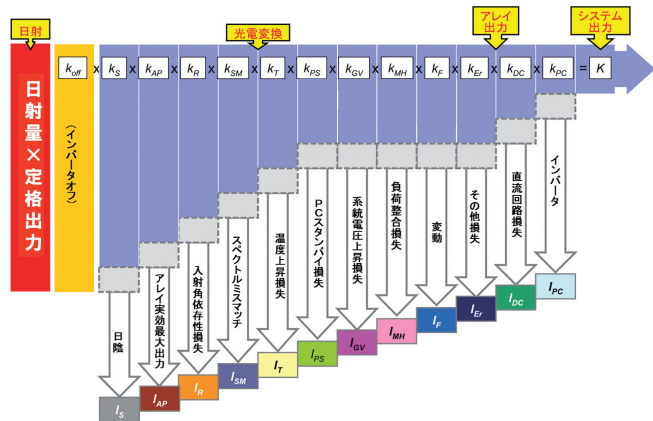


Fig. 15 SV法の解析フロー
(Analysis Flow of SV Method)

(2) 実運転データを用いた損失パラメータの分離

2013年11月に運転開始したメガソーラ（発電容量1990kW, Fig. 16）を対象にSV法を用いて損失パラメータの分離を行った。Fig. 16にアレイ外観を示す。太陽電池アレイは、合計8960枚の単結晶太陽電池モジュール（傾斜角20°）から構成されており、定格出力500kWのインバータ4台（以下、PC1～PC4）に接続されている。ストリング総数は640で、それぞれのインバータには、1系統あたり14直8並列の太陽電池アレイが、PC1～PC4に20系統（接続箱単位）ずつ接続されている。本報での解析はPC1を対象とした。



Fig. 16 メガソーラ外観
(Appearance of Mega Solar System)

(3) SV法による損失パラメータ分析

Fig. 17に2014年5月～2015年4月の1年間における損失パラメータの割合を示す。Fig. 18に示す損失パラメータ割合の月推移と併せてみると、通年で「その他損失」の割合が高く、季節別では、夏期は「直流回路損失」の割合が、冬期は「負荷整合による損失」の割合が多い。また、「温度上昇による損失」は夏期の方が、日陰損失係数は冬期の方が大きい傾向を示している。

また、比較的日射量が多く晴天とみなせる冬期、夏期の日（2015年2月21日、2014年7月26日）を対象に損失パラメータ分析を行った。Fig. 19, Fig. 20に、一日のパラメータ別損失量[kWh]の時刻推移を示す。冬期は午前の日陰損失量が多い。これは、太陽高度の低い冬期では、周囲樹木による日影の影響が強いためと判断される。一方、夏期は、直流回路損失量が最も大きく、次いで「その他損失」、日射、外気温など外乱の影響を受ける「温度上昇による損失」が多い結果となった。

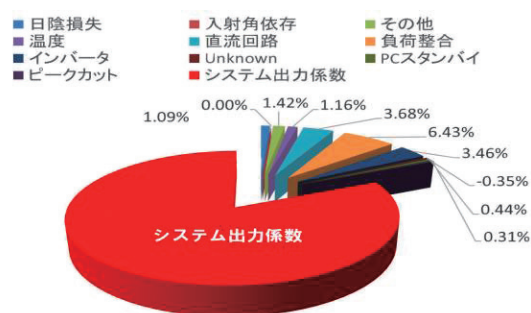


Fig. 17 損失パラメータの年間割合
(Annual Ratio of Loss Factors)

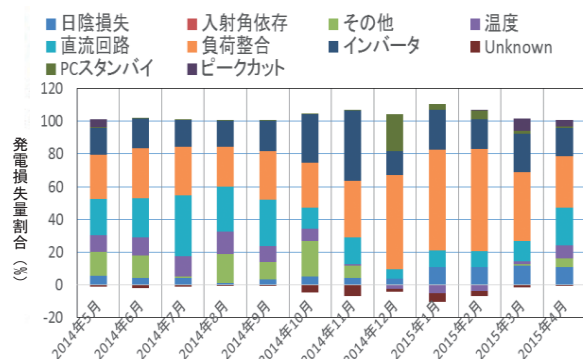


Fig. 18 損失パラメータ割合の月推移
(Monthly Trend of Loss Factor Ratio)

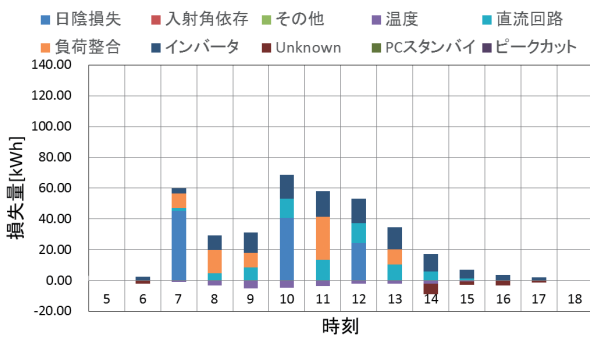


Fig. 19 冬期における損失パラメータ割合の時刻推移
(2015年2月21日)
(Time Trend of Loss Factors Ratio in Winter
(February 21, 2014))

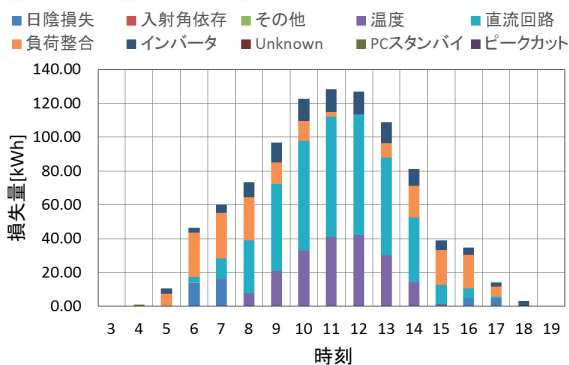


Fig. 20 夏期における損失パラメータ割合の時刻推移
(2014年7月26日)
(Time Trend of Loss Factors Ratio in Summer
(July 26, 2014))

(4) 損失パラメータ分離結果に基づく故障劣化診断

2014年5月～2015年4月の1年間における損失パラメータ分離結果のうち、日陰損失、入射角依存による損失、モジュール温度上昇による損失など故障劣化に起因しない要因を除き、直流回路損失、負荷整合損失および経年劣化を含むその他損失に着目する。Fig. 17に示すように直流回路損失3.7%、負荷整合損失6.5%、その他損失1.4%であった。直流回路損失は一般的に直流配線抵抗に起因するもので、通常2.5%程度である。この数字が大きい場合、バイパスダイオードの不良、端子の緩みなどが考えられる。負荷整合は一般的にインバータの動作のミスマッチに起因するもので、通常3～4%とされる。この数字が大きい場合、電流-電圧特性に影響を及ぼす異常が生じている可能性がある。その他損失は小さく、大きな汚れや経年劣化は生じていないと考えられる。

(5) 本技術の位置づけ

メガソーラの場合、太陽電池パネルは10,000枚以上もの多数に及ぶため、故障劣化診断には多大な労力とコストがかかる。SV法を用いた故障劣化診断は、パワコン単位で発電量低下の原因を損失パラメータ毎に推定できるため、故障に対する対処の軽重と緊急性の判断根拠になると期待できる。SV法自体は既に確立した技術で公知のものであるが、本技術は新たな故障劣化診断アルゴリズムを加え、当社独自手法として再構築したものである。

IV. スマートエネルギーネットワーク技術

1. スマートエネルギーネットワークの定義

東京大学 生産技術研究所 荻本和彦特任教授の定義によれば、スマートエネルギーネットワーク (SEN) とは、「低炭素社会の実現に向けて、従来型の大容量集中発電と再生可能エネルギーなどの分散型電源、さらには蓄電池や電気自動車などの需要端の電力貯蔵機能との共存を可能とし、供給と需要の双方向通信による負荷の平準化や省エネルギーを実現する新しいエネルギーシステム」である。

持続可能な都市・地域づくりのために大幅な低炭素化を図る必要から、地域で分散型エネルギーを活用するスマートエネルギーネットワークが注目され、建設各社が開発に取り組んでいる。

2. 当社のスマートエネルギーネットワーク技術

当社では、都市型熱供給システムにおけるコージェネレーションシステムの有用性検討や、復興に向けた新たなエコ漁港のあり方について検討を行ってきた。エネルギーネットワーク計画ツール ENe-ST (エネスト/ Energy Network Simulation Tool) は計画段階および運用段階において、空調、給湯、電気、再生可能エネルギー利用機器を一体的に解析し、省エネ性や経済性など最適なエネルギー需給の在り方を計画・支援することを目的に開発したものである。ツールの概要および解析事例を以下に紹介する。

(1) ENe-ST の概要

ENe-ST は、Fig. 21 に示すように入力データとしてオフィス・病院・学校・工場など様々なエネルギー原単位のデータや各地域の海水・河川水・下水の未利用エネルギーのデータを保有している。複数建物で、未利用エネルギーの積極的な活用や建物間での熱融通により省エネルギーを図るネットワークが構築される場合の各建物の負荷や、未利用エネルギーの賦存量に応じたシステム構成や容量を計画し、運用方法を検討することが可能である。

ツールの特長を以下に示す。

- a. 設備システムの一部(マイクロ)から複数建物を含む街区(マクロ)まで解析対象を幅広く選択可能
- b. 再生可能エネルギー利用機器や蓄電池など取り扱える機器が幅広く、その制御を自由に構築可能
- c. 空調、給湯設備だけでなく、電気設備や再生可能エネルギーなどの一体的な解析が可能

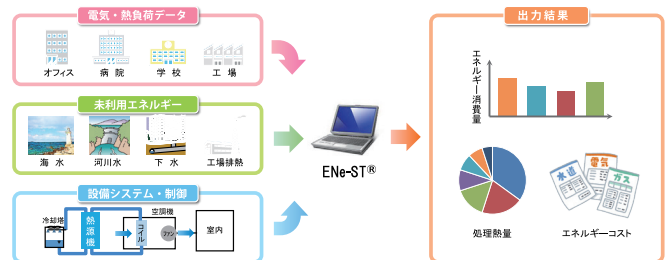


Fig. 21 エネルギーネットワーク計画ツール ENe-ST®の基本構成
(Basic Concept of Energy Network Simulation Tool "ENe-ST")

(2) 熱供給プラントの省エネ改修の検討事例

東京都に位置する複数建物(オフィス、ホテル、商業施設、Fig. 22)のための熱供給プラントの改修工事において、ガスコージェネレーション (CGS) と排熱投入型吸収冷凍機を新設した場合の効果・運用方法について解析した。Fig. 23 に示すように、新設 CGS で発電を行

い、その排熱を利用することにより、ボイラと吸収冷凍機のエネルギー消費量を15%削減できることが分かる。解析による改修効果を確認した上で、システムの運用方法を実運用にフィードバックすることで運用段階での省エネルギーに貢献した。

(3) 複数建物のエネルギーネットワークの解析事例

複数建物を対象とした解析として、東京都心部にあるオフィスと集合住宅（延床面積の合計約 160,000m²）へのエネルギー供給を想定した事例を示す。冷熱需要は地域冷暖房（DHC）冷熱、排熱投入型冷凍機、空冷ヒートポンプチラー、蓄熱槽で、温熱需要はDHC蒸気、ガスコージェネレーション（CGS）排熱、排熱投入型冷凍機の排熱で賄う（Fig. 24）。Fig. 25 にエネルギー種別毎の各月の一次エネルギー消費量を示す。CGSを常時稼働させたためガス消費量が年間ではほぼ一定値となり、冬期と夏期の負荷増加分に対してDHCや電気エネルギーが投入されている。

V. おわりに

本報では、建築分野を中心に代表的なエネルギー分野における技術動向と当社の技術開発成果について紹介した。

社会的要請を背景にエネルギー関連の政策動向、技術開発動向の変化は速い。近年、急速に「IoT」技術が進展し、これに伴って、「ビッグデータ解析」「人工知能」「センサーネットワーク」など革新的な技術開発が進められている。ZEB 実現に向けて、建物の運用エネルギー消費量 75%削減を達成するには、これらの従来の省エネルギー技術の延長線上に無い新しい技術分野との融合が必要である。

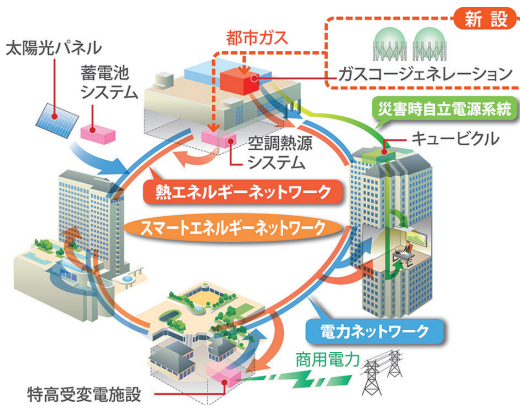


Fig. 22 改修によるスマートエネルギーネットワークの構築 (Architecture of Smart Network System by Improvement)

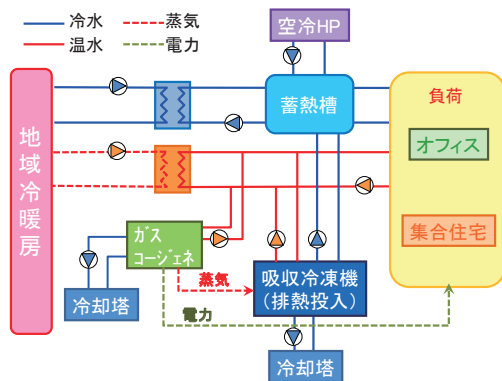


Fig. 24 複数建物へのエネルギー供給システム (Energy Supply System for Multi-buildings)

また、地域コミュニティレベルでのエネルギー供給システム（面的エネルギーシステム）に関するデベロッパーニーズは高く、今後の面的エネルギー利用技術の研究開発も推進していきたい。

参考文献

- 1) 三原邦彰, 荒井良延他; ZEB に向けた再生可能エネルギー利用システムの計画手法に関する研究開発 (その 1), 空気調和衛生工学会大会学術講演梗概集, 2011. 8.
- 2) 平岡雅哉; 鹿島技術研究所 本館研究棟 ZEB 実現に向けたケーススタディ, シンポジウム「ZEBの動向と定義」, 空気調和・衛生工学会, 2015.
- 3) 日本サステナブル建築協会; DECC 非住宅建築物の環境関連データベース, 2013.
- 4) NEDO; 「太陽光発電ロードマップ (PV2030+)」 概要版, 2007.
- 5) T. Ozeki, T. Izawa, K. Otani, and K. Kurokawa: "An Evaluation method of PV systems", Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 75, No. 3-4, 2003, p. 687.
- 6) 植田譲, 伊藤雅一, 黒川浩助他; 「アモルファス太陽電池アレイの計測データを用いた故障検出と故障箇所特定手法」, 平成 21 年度 日本太陽エネルギー学会/日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 公演論文集, 2009. 11.
- 7) 荒井良延, 三原邦彰, 小野永吉他; エネルギーネットワーク計画ツール「ENe-ST」の開発 (第 1~3 報), 空気調和衛生工学会大会学術講演梗概集, 2014. 9.

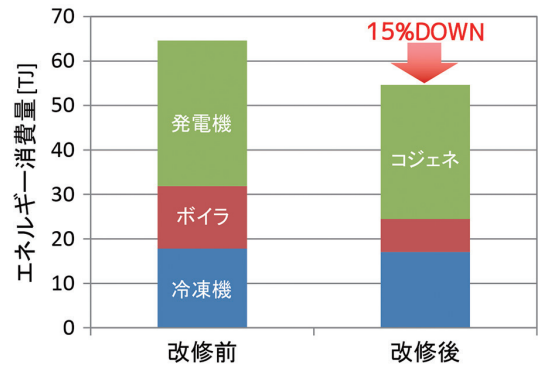


Fig. 23 改修によるエネルギー消費量の低減効果 (Energy Reduction Effect by Improvement)

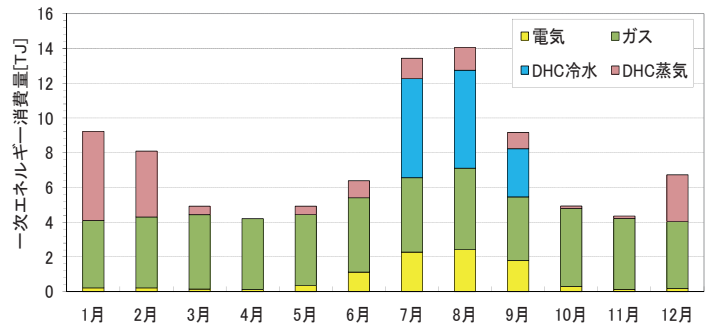


Fig. 25 エネルギー種別毎の一次エネルギー消費量 (Primary Energy Consumption of Each Energy Source)