

都市環境エネルギー

108

快適で環境にやさしい、
省エネルギー型街づくり

2014◆夏号



●卷頭言

エネルギー供給形態の多様化に向けて

●研究・技術最前線

管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱エネルギーの利用

●わが街づくり

かながわスマートエネルギー計画の策定について〈神奈川県〉
「誇れる環境モデル都市まつやま」を目指して〈愛媛県松山市〉

●海外インフラ輸出

東南アジア地区 地域冷房プラントの建設に参画して思うこと

●建設レポート

赤坂一丁目地区における自立エネルギー型都市づくり
新宿新都心地域冷暖房における低炭素まちづくりへの貢献

●海外情報

デンマークの広域熱供給事業発展の背景にあるエネルギー政策と事業成立に至る計画プロセス



雨上がりの宇宙

CONTENTS

卷頭言

- エネルギー供給形態の多様化に向けて

一般社団法人 都市環境エネルギー協会 副理事長
新菱冷熱工業株式会社 常務執行役員
都市環境事業部長 小谷 治昭 3

○研究技術最前線

- 管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱エネルギーの利用

積水化学工業株式会社 環境・ライフラインカンパニー 技術・開発センター 中井 健司 4

○わが街づくり

- かながわスマートエネルギー計画の策定について

神奈川県産業労働局 エネルギー部 地域エネルギー課長 山田 健司 8

- 「誇れる環境モデル都市まつやま」を目指して

愛媛県 松山市環境部 環境事業推進課 梶谷 尚士 12

○海外インフラ輸出

- 東南アジア地区 地域冷房プラントの建設に参画して思うこと

三菱重工業株式会社 機械・設備システムドメイン冷熱事業部 営業部 主幹技師 前原 則保 17

○建設レポート

- 赤坂一丁目地区における自立エネルギー型都市づくり

赤坂一丁目地区市街地再開発組合
事業協力者：新日鉄興和不動産株式会社
設計者：株式会社 日本設計 26

- 新宿新都心地域冷暖房における低炭素まちづくりへの貢献

株式会社エネルギーアドバンス 都市エネルギーサービス部 田中 一史 32

○海外情報

- 欧州のエネルギー自立型・低炭素都市づくりを支えるスマートエネルギーネットワーク先進事例調査

第1報 デンマークの広域熱供給事業発展の背景にあるエネルギー政策と事業成立に至る計画プロセス
国土交通省 都市局市街地整備課 拠点整備事業推進官 鎌田 秀一
東京ガス株式会社 エネルギー企画部 エネルギー計画G副部長 工月 良太 37

○新技術・新商品紹介

- コンテナ型ガス発電ユニット “MEGANINJA” シリーズ

三菱重工業株式会社 田中 政之 43

- 30MW級 高効率ガスタービン 「L30A」

川崎重工業株式会社 怡土 英毅 45

- 大規模ビルにおけるメタン発酵式バイオガスシステム

株式会社竹中工務店 大阪本店 設計部 企画グループ長 坂口 佳史 47

○協会ニュース

- 第46回通常理事会・第22回通常総会開催報告

..... 49

エネルギー供給形態の 多様化に向けて



一般社団法人 都市環境エネルギー協会 副理事長
新菱冷熱工業株式会社

常務執行役員 都市環境事業部長 小谷 治昭

失われた20年の終焉が近づき、デフレからインフレへと民間設備投資が復活の兆しを見せ、公共投資も今後益々活発化の様相を呈してくると思われます。2020年オリンピック・パラリンピックの東京開催も決定した今、わが国の最優先課題は、東日本大震災からの完全な復旧・復興であり、都市の強靭化と老朽化したインフラの再整備であると言われています。わが国は、化石燃料資源に乏しいうえに、震災以降、原発停止によるエネルギー需給逼迫という状況に直面してきました。エネルギー基本計画では、原子力は「基盤となる重要な電源」から「重要なベースロード電源」へとその位置づけを変え、将来的に原発稼動を継続させるとし「原発ゼロ政策」を転換しました。しかしながら、エネルギーの将来像を巡る議論は、一向にその方向性を見出せないでいます。

これまで海水、河川、地中等の自然のエネルギーや清掃工場、変電所等の排熱など未利用エネルギーを賢く活用するため「熱エネルギーの面的利用」を推進することが重要とされてきました。昨今、これに加えスマートシティ構想や自立電源とBCP強化、電力完全自由化と発送電分離の動き、さらにはガス事業改革等の動きも見られ、特に電力・ガス小売りの全面自由化や電力市場の整備により、エネルギーの選択肢はこれまで以上に多様化し、複雑化していくことが予想されます。また電力システム改革等が本格化すると、発電事業への新規参入が増え、分散電源、特にコージェネの位置づけが益々重要となってきます。そこで発電と同時に発生する大量の排熱を活用する手段として、地域冷暖房が極めて有効なシステムとなります。現に震災以降、BCP強化に対する意識が高まり、分散電源としての機能も有する地域冷暖房は、平常時の熱供給のみならず、非常時の電力供給、蓄熱槽からの生活水、消防用水等の供給などの面で、都市の強靭化へ貢献しうる存在として認知されてきています。こうしたCGS排熱や非常電源を地域全体で有効に活用するためには、電力・熱のネットワーク構築が不可欠です。しかし、これらのネットワークを構築するためのコストが、普及に向けての大きな課題となっています。

今後、当協会の活動は、電気・ガス・熱の多様なエネルギー供給形態に対して、エネルギー・ミックスの姿の追求や、電力・熱のネットワーク構築に向けた技術的、経済的課題を明確にすること、そして産学官で課題解決に向け協働することなど、これまで以上にその活動は多岐に亘ると思われます。是非、2020年東京を夢見、会員の皆様のご理解と益々のご協力を願いいたします。

管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱エネルギーの利用

積水化学工業株式会社 環境・ライフラインカンパニー 技術・開発センター 中井 健司

1. はじめに

東日本大震災の発生以後、省エネルギー・創エネルギー対策は、社会的に大きな課題となってきており、再生可能エネルギーの利活用がより一層求められている。下水熱利用はこうしたエネルギー対策の一つと考えられており、下水管路からの直接熱を回収して有効に活用する技術を確立することで大きな効果が期待できる。ここでは、当社の取組みについて紹介する。

2. 下水熱の利用状況と課題

下水温度は、年間を通して安定しており、夏場は外気温度より低く、冬場は高いという特性があり、都市内に豊富に存在している。ヒートポンプを組み合わせることにより、回収された下水熱は、室内冷暖房等の熱源として高効率で利用することができる。

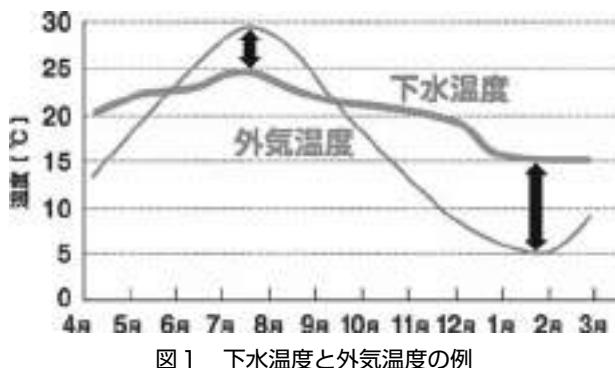


図1 下水温度と外気温度の例

具体的な事例として、幕張新都心や名古屋市などで処理水を熱源とした熱利用が行われている他、東京の後楽1丁目や盛岡西口地区などでは、未処理下水を熱源とし特殊な熱交換機をもちいた下水熱利用が行われている。しかしながら活用実績は少なく、今後の利用拡大が期待されている。

表1 国内における下水熱利用システムの事例

	下水種類	所在地	熱供給対象	延床面積	供給開始	事業主体
幕張新都心ハイテクビジネス地区	処理水	千葉県千葉市美浜区	オフィスビルホテル	932,000m ²	平成2年4月	東京電力(株)
後楽1丁目地区	未処理水	東京都文京区後楽	娯楽・業務施設ホテル	242,000m ²	平成6年11月	東京下水道工エネルギー(株)
盛岡駅西口	未処理水	岩手県盛岡市	複合ビルテレビ局	56,000m ²	平成9年11月	東北電力(株)
江東区新砂三丁目地区	処理水	東京都江東区	病院・オフィス	62,000m ²	平成14年4月	東京下水道工エネルギー(株)
芝浦ソニー	処理水	東京都港区江南	オフィス・会議室・店舗	163,000m ²	平成18年10月	ソニー生命保険(株)

出所)「熱供給事業便覧 平成24年版」に掲載の事例より作成

一方、海外の下水熱の利用動向を見てみると、処理水を熱源とするものは、大型のものがドイツ・スイスの他ノルウェー・カナダで採用されている。未処理下水を熱源とするものは、ドイツ・スイスで導入されており、下水管路に熱回収パネルを設置するもの（既設管設置方式）や管自体に熱回収管を組み込んだもの（組込方式）などのシステムにより熱を回収するものが多数採用され、導入実績が増えている。



出所) RABTHERM社資料、UHRIG社ウェブサイト他

図2 海外における下水熱交換方式の事例

熱回収技術の進んだ海外と比較すると我が国の下水熱利用は、いずれも下水処理施設・ポンプ場敷地内建築物内とその周辺に限られた熱利用であることから、下水管路で熱を回収するシステムを一般化

し、下水処理施設・ポンプ場の周辺以外の場所でも下水熱利用を可能にするなど、汎用性を高める必要がある。



図3 下水熱利用の導入エリア拡大イメージ

3. 管路更生に合わせた熱回収技術の開発

我が国の下水道管は、戦後都市部を中心に整備が進んできた。現在敷設後50年以上経過した管路が11,000km、30年以上が84,000kmとなっており、その老朽化が深刻な問題となっている。

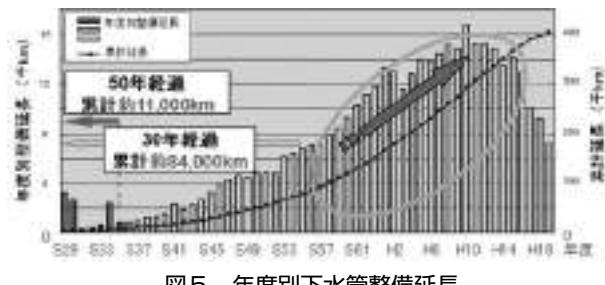


図5 年度別下水管整備延長

老朽化した下水管路をリニューアルする工法は、管路条件に合わせていくつかある。その一例を以下に示す。この工法は、製管工法のひとつで、既存の管路を開削することなく、その内側に新たに管路を構成するものである。施工は、マンホールからプロファイアルと呼ばれる塩ビ帯状部材をスパイラル状に製管し、既設管路と更生管（製管した管）の間隙に特殊裏込め材を充填し、既設管路と一体化した強固



図6 製管工法の一例

な複合管としてリニューアルするものである。

下水熱利用ニーズの高まりに対応すべく、この度当社では、管路更生の技術に熱回収の機能を付加したシステムを開発した。塩ビ帯状部材に集熱用配管を組合せることで、通常の製管工事と同時に集熱用配管を敷設できる。その集熱用配管に熱交換用媒体として不凍液（ブライン）を使用し、ブラインを循環させることで、下水から直接熱を採取する。この熱回収技術の特徴としては、以下があげられる。

- ①更生工事と同時に熱交換器の設置が可能で建設コストの低減を図れる。
- ②熱回収管が下水と直接接触する構造で熱回収性能が高い。
- ③熱回収管が樹脂製であるため耐食性、耐久性に優れる。



らせん更生管内部にブライン管を配置

図7 集熱器組込型更生管

採取した熱は、ヒートポンプの熱源として利用され、空調や給湯、融雪などに使用される。この熱回収技術を用いた下水熱利用システムは、専用の取水設備などを必要とせず、管路外方式と比較して建設費や維持管理費などのコスト縮減を期待できる。

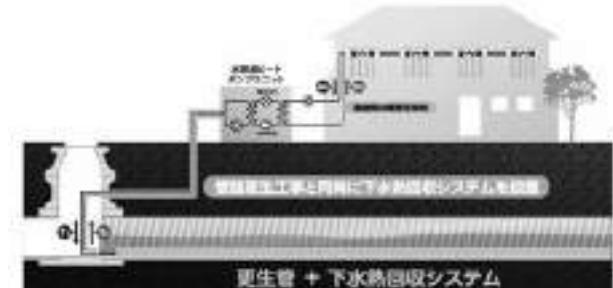


図8 下水熱利用システムの概念図

4. 仙台市における下水熱利用実証研究事業

次に仙台市と当社の共同研究事業として平成25年度に行った実証研究について紹介する。今回仙台市での下水熱利用システム導入にあたり、下記関係者に協力いただいた。

- ・仙台市（共同研究パートナー、対象管路提供）
- ・ゼライス株式会社（地権者）
- ・株式会社ヨークベニマル（店舗内給湯利用）

本事業は、震災後の平成23年度に国土交通省により立ち上げられた「下水道地震・津波対策技術検討委員会復興支援スキーム検討分科会」の中で当社が「管路の下水熱利用システム」を仙台市に提案し、国土交通省下水道部の業務として事業可能性検討を実施したものがベースとなっている。下水管渠からの下水熱利用の実用化は本件が本邦初となる。

4-1 共同研究の概要

本事業は、仙台駅から車で10分程の、広瀬川沿いにある工場跡地開発区域（ゼライスタウン）内に建設されたスーパーマーケット（株）ヨークベニマル若林店）を熱需要家として給湯利用を行うものである。

開発区域の北側には、既存合流式下水道管の南小泉幹線（Φ1,200mm）が埋設されており、そのうち約45mの1スパンに対して管路更生および熱回収管を設置した。また、下水から取り出した熱をヒートポンプまで運ぶブラインを循環させるための配管を、民間敷地内の緑地帯に約95m埋設し、店

舗脇にヒートポンプを設置した。

利用用途は、スーパーの惣菜、精肉、鮮魚コーナーのバックヤードでの使用とし、1日の給湯量を4,600リットルとした。

4-2 施設施工時における実証

施設の区分は、公道下を下水道事業とし、民間敷地内を民間熱利用事業として実施した。

1) 下水道事業

公道下部分の施工は、下水管内の更生工事と熱回収機器設置及び民間敷地までのブライン配管埋設が対象となる。

対象管路延長は45mで、熱回収配管は全45mの管路において3~4mのユニットに分割しており、それぞれのユニットにブラインを投入一返還するための熱回収本管に接続される。すなわち熱回収本管は、各ユニットのヘッダー管として機能する。



写真1 製管状況

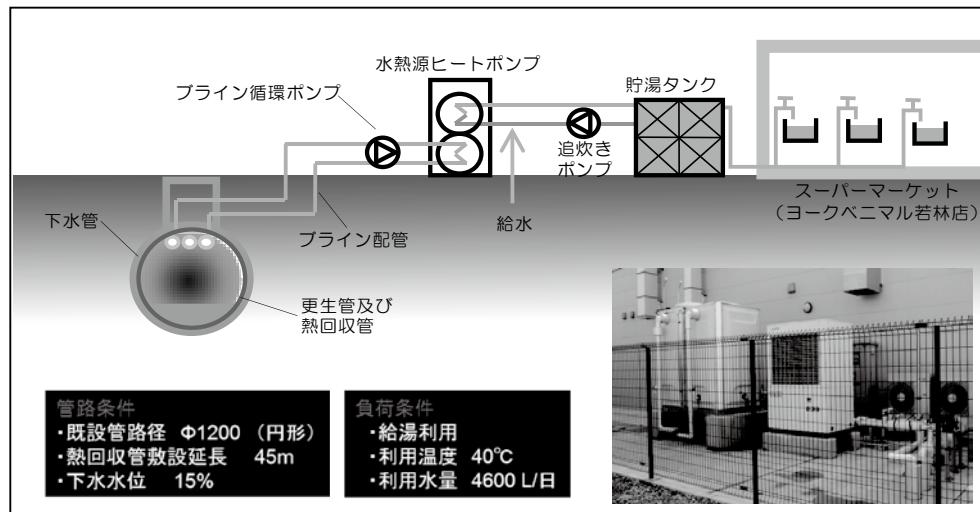


図9 下水熱利用システム構成図

製管完了後、熱回収本管を設置し、個々のユニットの熱回収配管と熱回収本管を接続する。すべてのユニットを熱回収本管に接続し、ブラインを投入して循環確認を実施した。接続部からのブライン漏れなどがないこと確認して管路内作業は完了となる。

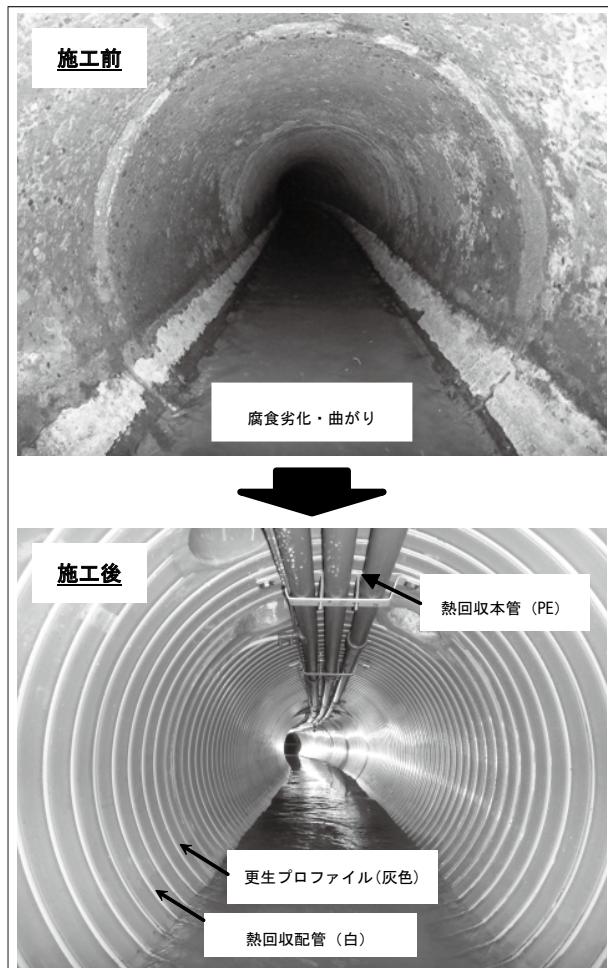


写真2 施工前後状況

2) 民間熱利用事業

民間熱利用事業については、民間敷地内の配管埋設、ヒートポンプ及び付帯設備機器設置、データ計測器設置が対象となる。

すべての機器を設置、接続後ヒートポンプの運転チェックを実施し、(株)ヨークベニマル店舗への給湯を開始した。

4-2 供用後における検証

本システムは、工事期間約3ヶ月（2013年8月～10月）で、11月より下水熱利用にて給湯運転を稼働している。共同研究は平成27年3月までとしており、その中で実使用下での環境性能評価、

維持管理上の課題整理、季節や天候の影響評価などを実施していくこととしている。

運転状況の参考として、平成25年11月から平成26年3月までの下水温度の測定結果を図10に、ヒートポンプの消費電力、給湯出力、エネルギー効率(COP)の結果を図11に示す。冬季の2月に下水温度が最も低下しており、エネルギー効率(COP)も2月で最も低くなっている。今冬季期間中のエネルギー効率(COP)は3.5～4.0であった。

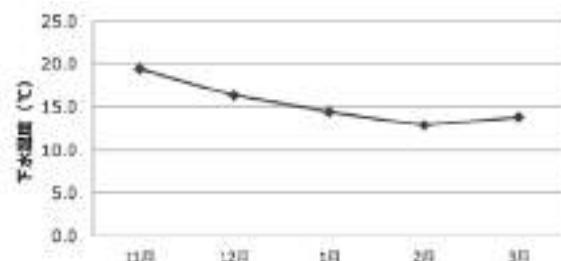


図10 下水温度 (月別日平均、11月～3月)

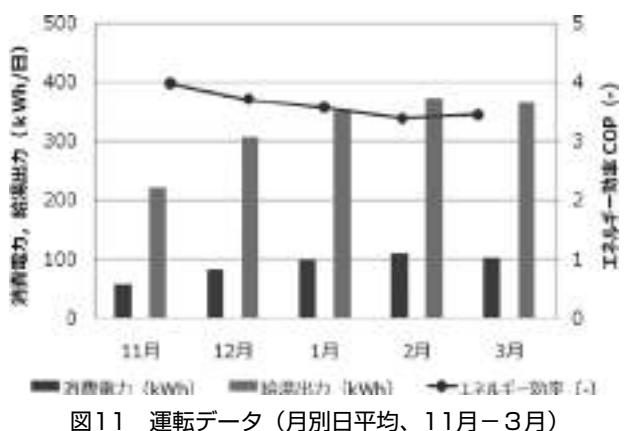


図11 運転データ (月別日平均、11月～3月)

5. 今後の普及に向けて

実管路での実証設備は本システムが日本初の取組みであり、システム稼働以降、各省庁や自治体、大学関係者や電力会社など様々な方々に見学いただいている。

今後の下水熱利用の普及に向けては、多様な下水管の現地条件に対応して設置・熱回収が可能なシステムの拡充、機器類の低コスト化による経済性の更なる向上への取り組みなどが求められる。

今後の下水熱の普及拡大に向けて、当社としても更なる商品開発・ランナップ拡充に取り組み、導入促進に尽力していきたいと考えている。

かながわスマートエネルギー計画の策定について

神奈川県産業労働局 エネルギー部 地域エネルギー課長 山田 健司

はじめに

平成25年7月に制定した「神奈川県再生可能エネルギーの導入等の促進に関する条例」に基づき、2030年度を見通した目標や基本政策等を定めた「かながわスマートエネルギー計画」を平成26年4月に策定しましたので、御紹介します。

かながわスマートエネルギー計画の概要

1 策定の趣旨

本県では、将来にわたり安全・安心なエネルギーを安定的に確保していくため、再生可能エネルギー等の導入など、「創エネ」、「省エネ」、「蓄エネ」の3つの取組を総合的に進め、それらを組み合わせて効率的なエネルギー需給を地域において実現することを目指す「かながわスマートエネルギー構想」を推進してきました。

「神奈川県再生可能エネルギーの導入等の促進に関する条例」の制定を受け、この条例に基づく計画として、かながわスマートエネルギー構想のこれまでの取組実績と情勢の変化を考慮するとともに、新たに産業振興施策と一体的に推進するという観点を加え、本計画を策定しました。

(参考) 神奈川県再生可能エネルギーの導入等の促進に関する条例

「神奈川県再生可能エネルギーの導入等の促進に関する条例」は、条例の制定を求める陳情（署名者数：218,185人）を受け、議員提案により平成25年第2回定例会に条例案が提出され、全会一致で可決されて成立しました。



図1 県立横浜栄高校に「屋根貸し」で設置された太陽光発電設備

2 計画の期間と項目

国のエネルギー基本計画では、中長期（今後20年程度）のエネルギー需給構造を視野に入れ、今後取り組むべき政策課題と、長期的、総合的かつ計画的なエネルギー政策の方針をまとめていることから、本計画は平成22（2010）年度を基準に、次の長期的な数値目標や主要施策等を定めています。

- ①平成42（2030）年度を見通した基本的な理念と政策、長期的な数値目標及び主要施策
- ②平成32（2020）年度までの中期的な数値目標
- ③平成26（2014）年度から平成32（2020）年度までの中間年度に当たる平成29（2017）年度までの重点的な取組

3 基本理念

かながわスマートエネルギー構想で掲げた3つの原則を踏襲し、再生可能エネルギー等の更なる普及拡大、エネルギー利用の効率化、ガスコーチェネ

レーション、燃料電池、蓄電池などのエネルギー高度利用技術及び情報通信技術（ICT）の積極的な活用により、地域において自立的なエネルギーの需給調整を図る分散型エネルギーシステムを構築し、災害に強く環境負荷の小さい地域づくりを推進するとともに、エネルギーの安定供給と関連産業の振興を図り、県経済の発展と県民生活の安定につなげます。

- [3つの原則]
 - 原子力に過度に依存しない
 - 環境に配慮する
 - 地産地消を推進する

4 基本政策及び主要施策

地域において自立的なエネルギーの需給調整を図る分散型エネルギーシステムを構築し、スマートコミュニティを形成していくためには、太陽光発電設備やガスコーチェネレーション等の分散型電源の飛躍的な普及、太陽熱や工場排熱等の熱利用を図るとともに、情報通信技術（ICT）を活用して、省エネや節電が日常の県民生活や産業活動に無理なく浸透し、地域全体のエネルギー効率の向上が図られるよう、技術革新や新たなビジネスモデルの創出を促進していく必要があります。

こうした施策を総合的かつ計画的に推進するため、5つの基本政策に沿って施策を展開するものとし、県が先導的に推進する主要施策を掲げています。

表1 基本政策及び主要施策

基本政策1 再生可能エネルギー等の導入加速化
①太陽光発電の普及
②その他の再生可能エネルギー等(電気)の導入
③再生可能エネルギー熱の導入等 など
基本政策2 安定した分散型電源の導入拡大
①ガスコーチェネレーションの導入
②水素エネルギーの導入
③蓄電池の導入
基本政策3 情報通信技術（ICT）を活用した省エネ・節電の取組促進
①事業者や県民の省エネ・節電意識の向上と取組の促進
②エネルギー・マネジメント・システム(EMS)の導入
基本政策4 地域の特性を活かしたスマートコミュニティの形成
①スマートコミュニティの形成に向けたプロジェクトの推進
②EMSを活用したサービスの普及
③地域におけるエネルギーネットワークの構築
基本政策5 エネルギー産業の育成と振興
①エネルギー関連企業の誘致
②エネルギー関連産業への参入促進
③エネルギー関連ベンチャーの事業化促進

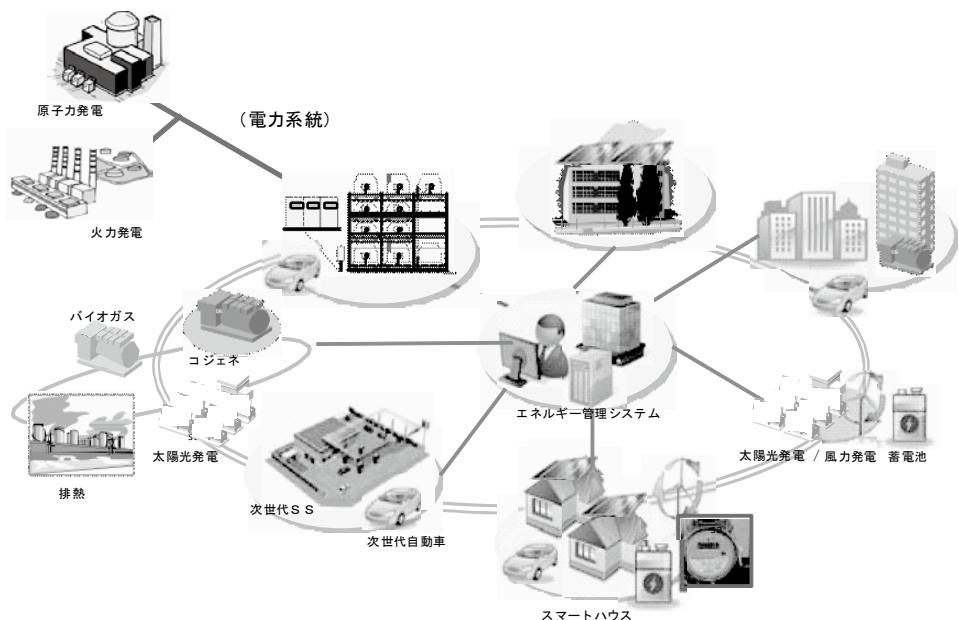


図2 スマートコミュニティ（イメージ）

5 数値目標

分散型エネルギーシステムを構築していくためには、県民や事業者が、受け身の電力消費者から自ら電力を生産する発電所になり、そしてスマートな省エネの担い手になる必要があります。

そのため、県内の年間電力消費量の削減とその年間電力消費量に対する分散型電源による発電量の割合について、数値目標を定めました。

①県内の年間電力消費量

これまでの実績並びに今後の節電意識の一層の向上、省エネ機器の導入及び建物の省エネ化等を見込み、平成22（2010）年度比で、平成32（2020）年度は10%の削減、平成42（2030）年度は15%の削減を目指します。

②県内の年間電力消費量に対する分散型電源による発電量の割合

再生可能エネルギー等、ガスコージェネレーション、燃料電池等の普及拡大を見込み、平成32（2020）年度は25%、平成42（2030）年度は45%を目指します。

また、再生可能エネルギー等による発電量の導入目標は、図3のとおりです。

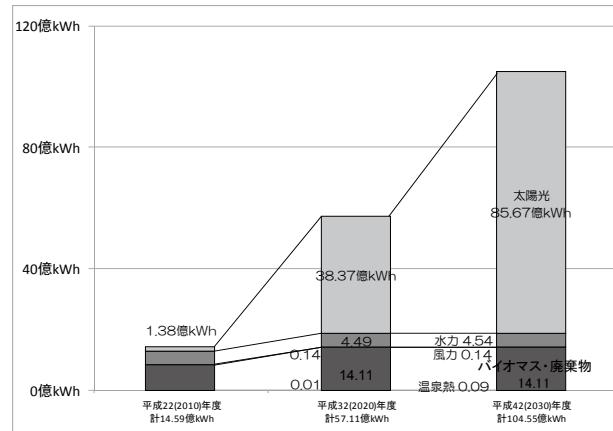


図3 神奈川県の再生可能エネルギー等による発電量（目標）

なお、中長期を見通した数値目標については、国がエネルギー基本計画において、「速やかに示す」としたエネルギー믹스等を考慮するほか、エネルギー関連の技術革新の進展、経済情勢の変化など様々な変動要因を考慮し、計画の改定等の際に必要に応じて見直すこととしています。

6 今年度の取組

基本政策1「再生可能エネルギー等の導入加速化」では、本県において、導入ポテンシャルが最も大きい太陽光発電を中心に再生可能エネルギー等の

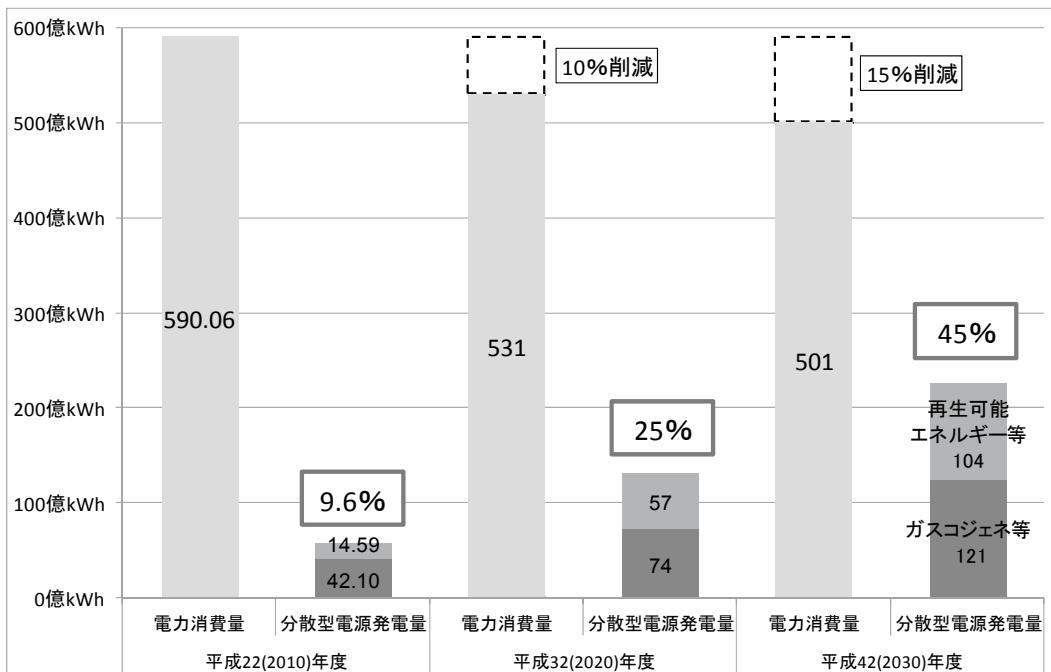


図4 神奈川県内の電力消費量と分散型電源発電量（目標）

導入加速化を進めています。

(屋根貸しビジネスモデルの普及)

屋根を発電事業者に貸して太陽光発電設備を設置する「屋根貸し」は、屋根を有効活用し、初期投資なしで太陽光発電設備を設置することができ、設置後は遮熱効果なども期待できます。この「屋根貸し」ビジネスモデルの民間施設への普及にあたり、「屋根貸し」等を希望する民間施設と「屋根借り」等を希望する発電事業者とのマッチングを進める相談会の開催や、発電事業者が複数の住宅の屋根を借りて太陽光発電設備を設置する、複数住宅の「屋根貸し」ビジネスモデルを実施する事業者の支援を行っています。

(かながわソーラーセンターの運営)

かながわソーラーセンターでは、県民や事業者の皆さんに太陽光発電設備をリーズナブルな価格で安心して設置していただくために神奈川県が公募した設置プランの周知を行うとともに、設置に関する相談等を受け付けています。今年度は、利用者のニーズに合わせ設置プランの多様化を図りました。

(薄膜太陽電池等の普及)

耐荷重に問題のある屋根にも設置できるよう、太陽光発電システムの軽量化を図ることができる、薄くて軽い薄膜太陽電池の普及拡大に向けた取組も進めています。

基本政策2「安定した分散型電源の導入拡大」では、エネルギー効率が高く、発電出力が安定しているガスコーチェネレーション等の導入を支援しています。また、次世代の有力なエネルギー源として期待されている水素を本格的に利用する「水素社会」の実現を目指し、家庭用燃料電池（エネファーム）

や燃料電池自動車（FCV）等の初期需要の創出などを支援しています。

基本政策3「情報通信技術（ICT）を活用した省エネ・節電の取組促進」では、夏季と冬季に電力需給対策取組指針を策定し、県民や事業者の省エネ・節電意識の一層の向上を図るとともに、住宅用のHEMSや事業所用のBEMSの導入支援などを行い、無理なく無駄のないスマートな省エネ・節電が可能となる社会づくりを進めます。

基本政策4「地域の特性を活かしたスマートコミュニティの形成」では、EMSを活用し、住民・事業者のニーズに即したサービスを提供するビジネスモデルの創出を支援する取組を進めています。

基本政策5「エネルギー産業の育成と振興」では、スマートエネルギー関連製品の開発支援として、HEMSを活用した製品開発や、水素ステーション等に関連する製品開発などを行う中小企業者に対して、産学官が連携して支援します。

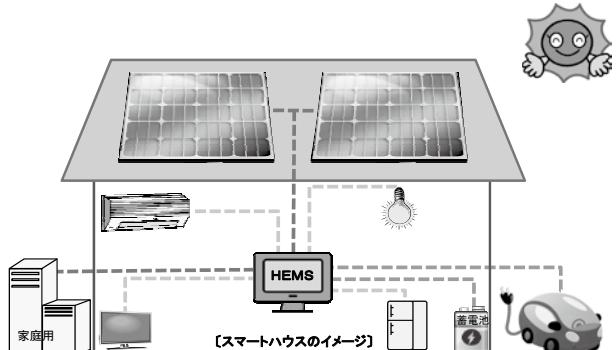


図5 スマートハウスのイメージ

おわりに

かながわスマートエネルギー計画に掲げた数値目標の達成や主要施策の推進に向けて、皆さんの御協力を得て、着実に取り組んでいきたいと考えています。

「誇れる環境モデル都市まつやま」を目指して

松山市 環境部 環境事業推進課 梶谷 尚士

はじめに

松山市は平成25年3月15日、「環境モデル都市」として国から選定されました。

環境モデル都市とは、日本が目指すべき低炭素社会の姿を具体的に分かり易く示すため、持続可能な低炭素社会の実現に向け、温室効果ガスの大幅な削減など高い目標を掲げて先駆的な取組みにチャレンジする都市であり、現在23都市が選定されています。(図1)

松山市は、厳しい経済状況の中、温室効果ガスの大幅な削減とともに地域経済の活性化などを図るために、「誇れる環境モデル都市まつやま」アクションプランの策定を行ったので概要を紹介します。



松山市の概要

松山市は、愛媛県の中央に位置し、三方を高縄山系や石鎚山系の1,000m級の山岳に囲まれ、石手川や重信川によって形成された松山平野の北部を中心に広がっています。西部の海岸線は比較的緩やかな一方、島しょ部は変化に富んだ海岸線を形成し、好漁場を有するほか、優れた景観から瀬戸内海国立

公園に指定されています。北東部・南部に広がる森林は、その一部が奥道後玉川県立自然公園に指定され、とりわけブナの原生林が美しい高縄山は野鳥の宝庫となっています。

市街地は松山城を中心に形成されており、市民のよき足として路面電車が市街地を環状に走り、その沿線には日本最古の温泉のひとつとして知られる道後温泉があります。

明治6年には愛媛県庁の設置に伴い県都となり、明治22年の市制施行以来、政治・経済の中心都市として成長し、平成12年4月に中核市へと移行、平成17年1月の北条市、中島町との合併により、四国初の50万都市になりました。また、俳人正岡子規をはじめ、多くの文人を輩出するとともに、小説「坊っちゃん」、「坂の上の雲」の舞台でもあります。

誇れる松山市の実績

・太陽エネルギーの活用

国内屈指の豊富な日射量を地域特性として、平成19年度からは太陽エネルギーをより有効に「脱温暖化」と「産業創出」に活かす「松山サンシャインプロジェクト」を展開し、平成24年度は中核市で最多の1,608件の太陽光発電の導入を支援し、小・中学校への導入率も全国平均を大きく上回る67.5%です。

・ごみの減量

「松山市一般廃棄物（ごみ）処理基本計画」に基づく各種施策の実施により、大幅なごみの減量に成功し、環境省の調査では、人口50万人以上の都市で1人1日あたりのごみ排出量（平成24年度

827.8g) が平成18年度から7年連続で最少となっています。計画では、「ごみを資源に～みんなでつくる持続可能な循環型のまち 松山～」を基本理念に掲げ、減量効果を維持しつつごみの再資源化の推進に努め、次世代の人々に豊かな環境を引き継げるよう市民・事業者・NPO・行政等が一体となって、循環型社会の形成を目指しています。

・節水

年間を通じて降水量の少ない瀬戸内海式気候に属し、また地形が急峻で河川が短い本市は水資源環境に恵まれていませんが、徹底した節水策のほか、市民一人ひとりの節水意識も高く、限りある水資源を有効に活用することで、市民1人1日あたりの上水道使用量（平成23年度293リットル）の少なさは中核市でトップクラスとなっている。また、市民・事業者・行政がそれぞれの役割を担い、連携を図ることで節水型都市づくりを進めています。

・歩いて暮らせるまち

松山城を中心に半径5km圏内に陸の玄関口であるJR松山駅をはじめ・港・空港・高速ICが存在し、都市機能や観光資源などが比較的平坦な中心部に集中することから、公共交通機関をはじめ自転車や歩行の利用割合が高く、自動車利用による一人当たりのCO₂排出量は、全国平均を大きく下回る1.38tです。

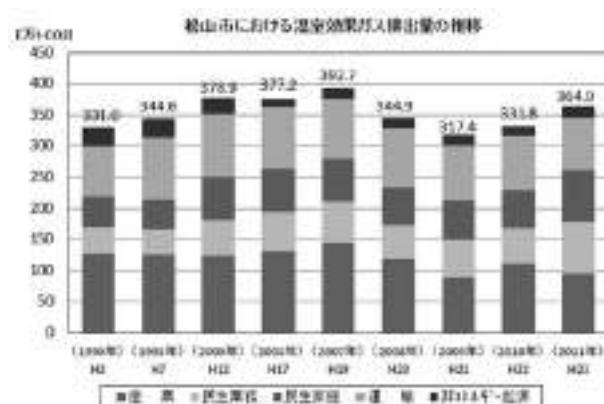
松山市の温室効果ガスの排出実態

平成23（2011）年度における松山市の温室効果ガス総排出量は、364.0万トン（二酸化炭素換算、以下同じ。）であり、前年度（平成22（2010）年度）の排出量と比べると9.7%、基準年度（平成2（1990）年度）の排出量と比べると10.0%増加しています。

松山市の温室効果ガス排出量部門別構成は、全国と比べて民生（業務・家庭）部門、運輸部門の割合が高く、産業部門の割合が低いことが特徴として挙げられます。（図2）

中長期の削減目標

「一人でも多くの人を笑顔に 全国に誇れる、わがまち松山」を基本理念に、「松山市低炭素社会づ



くり実行計画」に基づき、総合的かつ計画的に温室効果ガスの削減を目指すため、次のような中長期の削減目標を設定しています。

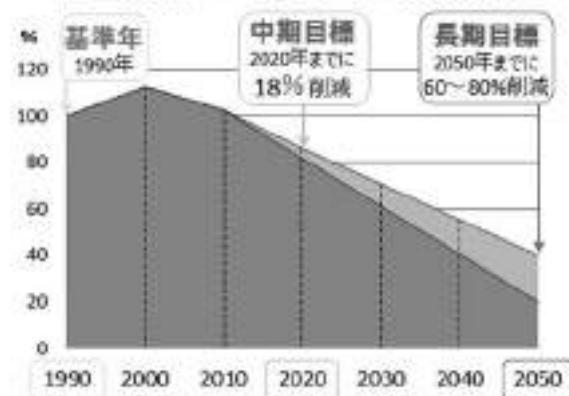
・中期目標

2020年までに温室効果ガス排出量を基準年度（1990年）比で18%（60万t）の削減を目指します。

・長期目標

2050年までに温室効果ガス排出量を基準年度（1990年）比で60%～80%の削減を目指します。（図3）

温室効果ガス排出量の削減目標



取組み内容

松山市低炭素社会づくり実行計画において、各部門の目標を達成するために掲げた「再生可能エネルギーの利用促進」「環境負荷の少ないライフスタイルへの転換」「環境負荷の少ない事業活動の促進」「脱自動車依存型コンパクトシティの推進」「豊かな自然環境に包まれた都市の創造」「低炭素社会づくりに向けた環境学習の推進」の6つの基本施策の実現性を高めるため、太陽エネルギーの活用を核に

「脱温暖化」と「産業創出」の両立を目指す「松山サンシャインプロジェクトの推進」。限りある資源（だから）の有効活用による「スマートコミュニティの推進」。コンパクト且つアクセス可能な市街地形成による「歩いて楽しい健康増進のまちづくりの推進」。環境配慮型行動の基盤を整備し温室効果ガスの排出抑制を図る「地域循環システムの推進」の4つの取り組み方針に再構築し取り組みます。

(図4.5)



【松山サンシャインプロジェクトの推進】

年間平均日照時間が全国平均を大きく上回る本市の地域特性に着目し、地域に最も適しているエネルギーとして太陽エネルギーを位置づけ、全国に先駆け、平成12年度から太陽光発電の、平成16年度からは太陽熱利用の補助制度を開始しました。また、平成19年度には太陽エネルギーの活用を核に「脱温暖化」と「産業創出」の両立を目指す「松山サンシャインプロジェクト」を立ち上げ、クリーン

エネルギーの導入促進を積極的に図ってきました。

その結果、年間で200～300件だった住宅・オフィスへの太陽光発電の導入件数が急増し、平成21年度に546件、22年度に1,440件、23年度1,435件、24年度1,608件、平成25年度1,679件と、着実に成果をあげています。平成32年までに住宅オフィス等に151,000kWを導入するという目標に対し、既に39,984kW(9,409件)を、また小中学校をはじめとする公共施設には平成28年までに1,600kWの導入目標に対し、既に1,079.2kW(61施設)が導入済みであり、中核市においてはトップレベルの導入状況であり、引き続きクリーンエネルギーの導入促進を図っています。(図6)



【スマートコミュニティの推進】

また、エネルギーの大量消費に慣れたライフサイクルを見直すには、市民一人ひとりが、目に見えない温室効果ガスの排出状況を身近に感じる仕組みや、出来ることから着実に実践することが必要です。

そのため、省エネ機器や高効率機器の普及に努めるとともに、電気自動車やハイブリッド車などの環境負荷の小さな次世代自動車への転換を図るなど、エネルギーの効率的な利用を推進しています。また、市内の中小企業者を中心に、工場や事業所における省エネ改修や省エネ型運用の普及を推進し事業活動に伴う排出量の削減を行っています。

また、本市の姉妹都市で、「環境首都」として世界的に有名なフライブルク市(ドイツ)にある「エコハウス」と、本市の環境啓発拠点である「松山

Re再来館」「松山都市環境学習センター」との間でエコフレンドシップ協定を締結するなど、五感を重視した体験型の環境学習を実践し将来に向けて子供たちの環境意識の醸成を図ることを目的とした環境教育を推進します。

松山市は、全国に先駆けて独自の補助制度や太陽エネルギーの活用を核にした松山サンシャインプロジェクトを開始するなど、再生可能エネルギーの導入促進を積極的に図ってきました。また、平成22年度には「松山市低炭素社会づくり実行計画」にてCO₂削減目標（2020年に1990年比△18%）を設定しており、その実現方策としてのスマートコミュニティ関連技術の活用が期待されています。

本市では、松山スマートコミュニティ実現のため各種関連調査を行い、その成果を「松山スマートコミュニティ計画（マスタープラン）」の先導的取組みと位置付けることから、道後温泉地域を対象とした「温泉熱」など未利用エネルギーの有効活用と経営改善を合せた省エネルギー化を図る低炭素経営の推進を一体的に行うことを目的に、国の特定地域再生計画策定事業による調査を平成25年度に行いました。

今後は、特定地域再生計画に基づく事業の実施やスマートコミュニティに関する可能性調査・検討を行いスマートコミュニティ構想を推進します。（図7）



【歩いて楽しい健康増進のまちづくりの推進】

快適な暮らしを送るために必要な上下水道や道路など、生活基盤の整備・維持管理を推進するとともに、歴史・地域性を活かした松山らしい景観や緑あふれる美しい街並みの形成が必要です。また、少子

高齢化の進行や人口減少が見込まれる今後のまちづくりにおいては、都市機能を集約したコンパクト且つアクセス可能な市街地形成が必要であり、中心部において、松山駅周辺土地区画整理事業や松山アーバンデザインセンター構想の実施とともに、歩行者や自転車優先のエリアを設定・拡大していく、安全・快適な歩行者空間を創出しています。

「歩く」ことは健康増進に繋がり、医療費の削減に繋がることから、歩行回遊を支援・促進するための道路空間の再配分や、沿道への各種プログラムの導入により、「歩いて楽しい健康増進」のまちづくりを進めています。（図8）



【地域循環システムの推進】

持続可能な社会を構築するために、循環型社会・自然共生社会の実現に向けた取組みとして、環境教育等を通じて、地域と連携した環境配慮型行動を促進し、市民のライフスタイルの転換や「地域循環型」の食品リサイクルループを活用した地産地消の推進等によるごみの排出量削減とそれに伴う温室効果ガスの排出削減を促進しています。また、自然環境への負荷を抑えるため、既存の最終処分場の延命化に取り組むほか、公共施設でのエネルギーの効率的な利用や高効率機器の率先的な導入を行い、さらなる温室効果ガスの排出削減につなげています。

また、水資源に恵まれない本市は、市民や企業の協力を得て節水に努めてきた結果、中核市でも1、2を争う節水型都市を確立していますが、引き続き、限りある水資源の有効活用を図り、給排水に係る温室効果ガスの削減に努めています。（図9）



おわりに

「松山市環境モデル都市アクションプラン」の策定を機に、これまでの全国に誇れる取り組みを引き続き進めるとともに、本市が有する地域の特性を最大限に活用しながら、市民、企業、大学等と協働しながら、全市一体となって、低炭素社会の実現を目指して、新たにスタートします。

海外インフラ輸出

東南アジア地区 地域冷房プラントの建設に参画して思うこと

三菱重工業株式会社 機械・設備システムドメイン冷熱事業部 営業部 主幹技師 前原 則保

1. はじめに

筆者地域冷暖房プラントに関わった切掛けは、1991年三菱重工の大型冷凍機を設計製作している冷熱事業本部大型冷凍機部に転勤したことが契機となった。当時は、日本国内はバブル経済絶好調の時期であり、東京、大阪エリアの大型開発向けの地域冷暖房プラントプロジェクトが次々と発表されており、地域冷暖房ビジネスに携わるものに取って非常にチャレンジ性に富んだ時期であった。また、地域冷暖房プラント技術においても多数の大学・設計事務所で先進的な技術適用が検討され、実際のプラントで実現していくことを目にすることができる恵まれた時代であった。1990年代の地域冷暖房プラントは、ガスタービンコーチェネレーション、大型氷蓄熱、空気熱源・河川水及び海水熱源ヒートポンプを用いた未利用エネルギー利用等 新技術が地域冷暖房プラントに導入された時期である。当社は札幌地下鉄排熱利用地域冷暖房プラント、関西国際空港地域冷暖房プラント、東京臨海有明地域冷暖房プラント、大阪OAP地域冷暖房プラント等の建設を行い、地域冷暖房プラントにおける貴重なノウハウを蓄積できた。その後、バブル経済崩壊による大型地域開発の減少、ガス価格高騰等、地域冷暖房プラントビジネスを取り巻く状況は大きく変遷していった。日本における地域冷暖房ビジネスの状況が大きく変わりつつある中で、当社はマレーシアのKLCC, KL Sentral地域冷房プラントプロジェクト、2002年からは、シンガポールMarina South 地域冷房プラントプロジェクトに取り組む機会を得た。今回、一般社団法人都市環境エネルギー協会殿より私の海外地域冷暖房プラント建設における経験を記述させて頂く機会を得、光栄に思う次第です。

2. 東南アジア地区地域冷暖房プラント黎明期における各国の対応

日本における地域冷暖房プラントは1970年の千里地区地域冷暖房プラント以降、多数のプラントが建設、運営され重要なインフラとなっている。しかしながら、東南アジア地区では1990年あたりまでは地域冷房プラントの概念自体存在せずまた、地域冷房プラントの省エネルギー性及び経済性に対する認識も無い状況であった。ビジネスとして成立させるための投資者及び投資回収を保証する事業者も存在しない状況であった。

(1) マレーシア

1992年にマレーシアの国営企業 Petronasと三菱商事、東京ガスで天然ガスを利用した地域冷房ビジネスを行うGDC (Gas District Cooling) が設立され、日本の地域冷暖房プラントの設計、建設及び運営の技術移転が行われたことが、その後のマレーシア国内での地域冷房プラントビジネスの発展に繋がったと考える。東京ガス殿から日本人3名のエンジニアの方が、クアラルンプールのGDCの事務所に常駐し、KLCC, KLIAの建設のためマレーシア側エンジニアを指導していた。マレーシア側のエンジニアは、石油化学プラント関係出身であり、地域冷房プラント技術を基礎から指導することは大変であったと考える。

マレーシア国内初の地域冷房プラントであるKLCC (Kuala Lumpur City Center) は当社が建設した。マレーシアでは地域冷房プラント事業（建設・運営）に関しての法的な整備がされていないが、投資家が自由にビジネスを展開できる環境にある。マレーシア国家としての地域冷房プラント事業

者に対する国家の支援制度が無いにも関わらず、熱帯という年中冷房負荷が安定して存在する環境にあることから地域冷房ビジネスの経済性は高く、多数の地域冷房プラントの建設が行われている。



図-1 KLCC地区需要家ビル群

(2) シンガポール

現在Marina Bay地域冷房プラント、バイオポリス地域冷房プラント及びチャンギビジネスパーク地域冷房プラントが稼働している。1997年当時は、地域冷房ビジネスのコンセプトもなかった。その中でシンガポール政府URA (Urban Redevelopment Authority) に対し三菱商事/当社で地域冷房プラントビジネスのコンセプト提案を行った。それを切掛けにシンガポール政府は、米国及び日本の地域冷暖房プラントの実績調査を行った後、シンガポールで地域冷房プラントビジネスを行うための法制度が整えられた。事業主に対して下記のきびしい条件が設定されている。

a. 一般空調熱源システムより高効率であること

地域冷房プラント事業者の熱源所要エネルギー原単位は、シンガポール政府機関が同国内の一般空調ビルの熱源設備を10ヶ所選定、計測し、算定した所要エネルギー原単位より下回る様に義務付ける。

b. 初期投資回収後の熱料金引き下げ義務の付与

地域冷房プラントの事業者は、地域冷房プラントへの投資回収が完了した年度以後は、冷水販売単価を妥当な利益水準を考慮した上で、引き下げ義務が付与されている。冷水単価は、シンガポール政府の管理下にある。

上記a、bは、地域冷房プラント事業者にとっては厳しい条件であり、Marina Bayエリアの地域冷房プラント運営事業者公募に対して、政府関係企業のシンガポール電力が名乗りを上げたのみであった。シンガポール電力も地域冷房プラントの運営の経験はなく、世界各国でユーティリティービジネスを展開しているフランスのDalkiaと合弁会社SDC (Singapore District Cooling) を立ち上げ地域冷房ビジネスに乗り出した。シンガポール政府は、a. bの条件を地冷運営者に課し地域冷房プラントからの冷水供給の経済性を保証するとともに、地域へ建設するビルは、強制的に地域冷房プラントから冷水を受け入れる義務を設定している。以上のとおり、需要家にとって合理的に地域冷房プラントの冷水受け入れに対する理解が得られる条件作りを国家として作り上げている。

日本では、地域冷暖房プラントの熱供給エリアであってもビルオーナーは冷水/温水/蒸気を受け入れる義務はない。各地域冷暖房プラントで需要家獲得に



図-2 No.1 Plant需要家ビル群



図-3 No.2 Plant Marina Bay Sands

おいてビルオーナと地域冷暖房プラントから冷温水を受けるかどうかの議論があると認識している。

当社が施工した Marina Bay エリアの地域冷水供給配管は、道路の地下に建設された共同溝（図-4）へ電気、水道、ガス及び下水とともに布設されている。



図-4 Marina Bay Area共同溝イメージ

この共同溝は街全体の計画段階で、東京臨海地区、みなとみらい21地区等をシンガポール政府関係者が調査し、シンガポール政府の予算で建設された。

3. 海外地域冷房プラント建設に関して

筆者は、日本国内地域冷暖房プラント建設を経験した後、マレーシア国内地域冷房プラント(KLCC)、及びシンガポールMarina Bay地域冷房プラントの建設を行った。

日本国内の地域冷房プラントの場合は、工期及びプラント仕様等リスクは無いが、シンガポールMarina Bay地域冷房プラントでは、日本では想像できない場面に多々遭遇し、日本企業が今後の海外インフラ建設に取り組む上で参考としていただける事項が多々あると思うので、その経験を中心に記述させていただく。

Marina Bay地域では、No.1及びNo. 2 地域冷房プラントが建設され、容量は下記の通りである。

No.1 Plant 設計容量 44,700RT

No.2 Plant 設計容量 51,500RT

3.1 No.1 Plant入札から契約まで至る経緯説明

地域冷暖房プラントの日本国内の入札は、事業者が採用した設計事務所が作成した機器仕様、プラン

ト配置、配管、計装、電気、付帯設備等プラント受注者が見積可能な設計図及び仕様書等が提供されるのが通常である。

マレーシア の事業者で米国系のコンサルを採用している地域冷房プラントの場合は、日本とほぼ同じである。Marina Bay地域冷房プラントでは図面等は提供されず、プラント容量、性能保証条件、要求事項を文書で明記した入札条件書が提示された程度であった。プラントの建家のCAD図に建設したい地域冷房プラントの配置、配管ルート、受変電設備、中央監視設備等の計画を入札者自ら作成し、提案するDesign & Build入札であった。このような入札スタイルは、東南アジアではよくある。

表-1 日本の入札形態との比較

区分	特徴
設計図提示 (日本スタイル)	a. 設計仕様明確化されているので、入札者間の仕様差が無い b. 実施段階で発生する設計変更に対するコスト増減精算が容易 c. プラント完成の品質性能は設計図ベースで保障される。
Design & Built	a. 入札者により提案内容が異なり、入札価格及び性能差が大きい。 b. 入札者の提案により仕様決定しているので、追加増減請求が明確にできない。 c. 入札者が果たすべき義務を明確に文章で規定しておけば、実施途中発生する問題点は入札者の責となる。

表-1に示す様にDesign & Builtは、発注者側のリスクは低減できるので、No.1プラントでは、本方式が採用された。Marina Bay No.1 Plantの入札は、国際入札となり三菱重工を含む日系企業3社、韓国系2社合計5社が入札に参加した。技術評価は3ヶ月程度かけて行われ、客先のブレーンストーミングによるプラントの性能を高効率化する仕様変更の要求が継続的に行われた。当社は、冷凍機メーカーであることの優位性を発揮し、他社実績のない冷凍機及び高効率機提案により、性能差による地域冷房プラントの経済性向上による受注を目論んだ。具体的には、2800RT製氷ターボ冷凍機（3圧縮器タイプ）及び2000RT冷水ターボ冷凍機（2圧縮機、熱交縦割り型のシリーズカウンターフロー適用）の冷凍機を適用することで受注できた。

(1) 契約条件ネゴに関して

シンガポールは、人口400万人に対して弁護士が2万人存在する訴訟社会である。技術ネゴ完了後契約商務条件のネゴに移行した。契約条件のドラフトは、客先から提示され、契約条件の1文1語ごとに双方のコメントを議論し、合意できる着地点を協議した。契約条件合意まで3ヶ月程度要した。シンガポールの公共機関の契約においてはよく見られる多数のペナルティー条件（図面提出遅延承認取得遅延、プラント完成納期遅延、冷凍機性能未達）が設定された。契約履行に関しては世界で最も厳しい条件が付けられる国家であると考える。ペナルティー金額も、例えば図面提出遅れは1週間2百万円程度であったと記憶している。また、地域冷房プラントのターボ冷凍機の性能未達1%ごとのペナルティー設定、5%以上性能未達の場合は、受け取り拒否条件が設定された。このようなペナルティー設定は、客先も初めてのプロジェクトであり、客先との信頼関係構築ができていない状況の中ではやむをえない状況であったと考える。現在ではこのような厳しい条件設定は一般常識であると認識している。

3.2 プロジェクト実施

(1) 設計承認取得

契約後1年間は、詳細設計期間であった。元々客先から与えられた条件は、プラントスペース図面とプラント容量のみであったので、プロジェクト実施図面をゼロから作成していった。日本国内で設計チームを立ち上げ、毎月1週間程度客先と打ち合わせ、その結果による詳細設計を日本で行った。設計承認スタイルは、シンガポール電力の標準に従い行うように義務付けられた。図面1枚ごとにマイクロソフトワードのシートが付けられ、コメント1項目ごとに回答を記述し、提出する。図面の記録を見ると基本設計の図面でプラント配置改訂14回、電気単線結線図15回と設計確定まで何度も計画変更が起こった。通常日本ではプラント発注前には仕様確定しているのに対して、Design & Build契約のためプラント仕様が白紙の状態でスタートを切ったことが大きく影響していると考えている。

(2) 地域冷房プラント機器調達

1) ターボ冷凍機及び氷蓄熱システム

ターボ冷凍機は、三菱重工製でありプラント内部の設計はスムーズに進捗した。当社の氷蓄熱システムは10年近い実績があり、自社設計製作もしていることからNo.1プラントでは自社設計品を適用した。しかしながら、氷蓄熱容量24,000RT×2槽という巨大な氷蓄熱システムは未経験の世界であった。設計は当社で行い韓国のメーカーに発注したが、最初の氷蓄熱コイルは亜鉛メッキ段階で熱による歪みが発生し、12mの段積には耐えられない状況であった。満足のいく製氷コイルができるまで5個程度は製作失敗したと記憶している。



図-5 自社製氷蓄熱コイル積み上げ試験（6段高さ12m）

自社製作に踏み切る判断は、国際競争入札の中で厳しいコストで受注しており、自社製作が与えられたベストの選択であると判断した。6段積の最下層のコイルが破断した場合は致命的となるため、氷蓄熱コイルの耐圧漏れ検査に現地で2ヶ月程度かけ細心の注意払って建設した。客先契約では保証期間10年の要求があり、現在も保証期間中である。

2) 電気関係

No.1プラントのコンサルタントは発電所建設専門であったため、受変電設備計画に多大なエネルギーを消費した。冷凍機専門の大型冷凍機部門には客先コンサルに太刀打ちできる人材はおらず、他部門の受変電設備計画のOBにプロジェクトに参画してもらい受変電設備の実施計画を行った。No.1プラントを建設した当時（10年前）は、日本が輝かしい経済成長を遂げた時期のベテランがまだ元気であり、その経験及び知見を活用できた恵まれた時代であったと考える。1990年以降日本経済の落ち込みによる海外プラント経験を積む機会が限られているので、今後海外プラント/インフラ事業を継続していくことは相当苦労すると思われる。受変電設備は、ヨーロッパ系のメーカー（超一流メーカー）を採用し、そのメーカーのシンガポール支社に発注した。

受変電設備では、プラント立ち上げ時メーカーの問題点が噴出した。中でも驚いた状況は、主トランスの周波数を間違え、焼損事故が発生した。また冷凍機起動盤部品の選定ミスによる起動盤の焼損事故等、信じられないトラブルが多発した。電源周波数の間違いは電気メーカーにあるまじきミスである。このようなミスが現実に発生するのが海外プロジェクトの困難さと思う。これらのミスは、仕様書と異なる部品、機器・部品が納入されたことによる人災であった。

（3）計装制御設備

東南アジアでは、計装制御システムは、必要最小限運転可能であることを目標に計画される場合が多い。プラント運用開始後、必要な運転情報がない状態で運転しているケースが多くみられる。シンガポールではドイツ系のメーカー計装品が安価に入手でき、計測精度が高いDIN規格品を採用した。プラント運用後に当社の冷凍機特性を詳細に評価するためのデータが取得できるように日本の常識以上にセンサーを取り付けた。

中央監視装置は、受変電設備と同じメーカーに発注した。中央監視装置は、地域冷暖房プラント運用開始後は中心設備となり、当該受変電設備メーカーも地域冷房プラントの制御を行った実績はなかった。客



図-6 中央監視室

先からも心配する声があったが、与えられた予算では、その他選択肢がない状況であった。実施段階での問題点は、メーカーの制御盤設計が不完全であり、そのまま製作すれば機能しないと判断した。当社の制御担当者によりメーカーの図面すべてを修正し、完璧な図面を当社指導のもと完成させた。中央監視装置採用メーカーの現場関係の制御盤設計技術陣は貧弱であったが、中央監視装置本体の制御ソフト設計レベルは、担当者は化学プラントを多数経験しており、客先及び当社も満足できるシステムの構築ができた。

（4）購入手配品に関する感想

地域冷房プラントの性能を決定する当社製ターボ冷凍機以外の機器は殆ど購入品となる。購入調達品は、日本、ヨーロッパ、アメリカ等の先進国からであったが、購入窓口は、欧米系メーカーのシンガポール支社であり、担当者の個人レベルの問題でトラブルが多発した。シンガポールでは、人材はより好条件の仕事を求めて企業を渡り歩く傾向があり、担当者が突然変わることも多々経験した。

3.3 地域冷房プラント建設

（1）建設に関わる民族構成

客先も多民族構成であり、プラントマネージャーは、フランス人、プロジェクトマネージャーは中華系マレーシア人であり、エンジニアはインド人であった。フランス人のプラントマネージャーは、頓智の効いたダジャレが好きで打ち合わせは和やかな雰囲気で進行した。インド人エンジニアは、厳格で契約通り工事がなされているかフォローしてきた。インド人エンジニアは、プラント完成引渡し前に、

多数の残件項目指示書を発行し、プロジェクトチームの帰国が遅れ泣きたい気持ちになった。多民族から構成されるプロジェクトを経験すると、それぞれの国民性の差異も明確になる。シンガポールでは、建設業は海外出稼ぎ労働者に頼っている。建設サイトでは中華系シンガポール人、インド人及びミャンマー人をキーマンとして、工事毎に配管工事及び機器据付はバングラデシュ人、電気計装はフィリピン人が担当した。



図-7 客先プロジェクト管理メンバー

配管溶接はバングラデシュ人チームが担当したが、日本国内レベルと比較しても遜色ないレベルであった。バングラデシュ人は、高温多湿な中、黙々と仕事をこなし真面目なワーカーが多かった。国の貧困による家族の経済状況も語ることが多いが、こちらとしては何とも出来ずその国の将来の発展を祈るのみであった。

プラント運転開始時は、夜間にはプラント停止していたのでインド人才ペレータ相手に雑談にふけった。インド人は365日、朝昼晩カレーを食べることをその時知った。サイト近くにはインドの屋台があるので昼はインドめしを食べたが、昼だけなら毎日カレーは可能であると感じた。なかなかいけるものだと思った。当社のサイト事務所の秘書はインド人女性であったが（当時24歳）、シンガポールに出稼ぎに来ている男性を父親が結婚相手として選び、1度も会ったことがない状態で写真だけを持ってシンガポールに来たという話にも驚いた。親が決めて幸せかとの質問をしたが、良い相手にめぐりあってよかったとのこと。またインドでは、カーストがあ

るので自由恋愛はあまりないとのこと。

インドでは、州によって言語及び文字が違い同じインド人でも通じないので、英語が共通語になってしまうとのこと。この状況は日本では想像できない。中国でも同じように、各省で話し言葉が違い、意思が通じないと聞いているが、文字は共通である。



図-8 当社メンバー（右2番目筆者右4番目秘書）

（2）プロジェクト実施における遅延

Marina Bay の No.1 Plantの予定は2002年着工、2005年の竣工がオリジナルの予定であった。地域冷房プラントは、50階建てのツインタワーの地下であった。

Marina Bayエリアは元々海の埋め立て地であり、地盤が脆弱である。地下エリアで工事を行う毎に海水が染み出て来る問題が発生し、止水できない状況が継続した。地盤の改良及び止水に3年程度の工期の遅延が発生した。工期遅延もプロジェクト実施中に度々連絡がくるので材料手配、機器製作開始後であったので、そのまま製作するしかない状況であった。地域冷房プラント入居ビルは日系企業が建設した。地域冷暖房プラントは、ビルのテナントとして入居する条件であったので工事遅延に関わる発生費用はビル建設側の責任になる。外部要因によるコスト/リスク発生が当社の内部問題として浮上してきた。

表-2 工期遅延による発生費用

項目	問題
機器	主要機器は製作開始中であり日本、韓国、ヨーロッパのメーカーの工場でラインに乗って製作中であった。 保管中の品質保証問題となった。
材料	中国の高度成長及び建設資材買占めによる、配管、鉄骨高騰（50%程度）
人件費	MHIの人件費増。下請け工事会社の人件費増
保管費	シンガポール国内に保管エリアの確保
為替	契約時シンガポールの為替は80円/S\$程度であったが3年遅れ時63円/S\$になっていた。契約はシンガポールドルであった。

シンガポールでは一般的にこの種の問題はよく起る話であり、まずは客先との交渉。それでもまとまらない場合は、裁判所での仲裁及び裁判等による決着を図ることのこと。本件に対応するには、しっかりと客観的に当社被害を証明する資料等を用意する必要ある。この対応の専門コンサルタント（呼称：クレームコンサル）としてシンガポールで活動している英国系のコンサルを起用し、客先への証拠書類作成及び日々の客先やりとりのレターを作成した。遅延期間も当初は半年程度が月日が経過するごとに遅延していき、最終3年程度になった。最終的には弁護士を起用し、法的に当社の立場を保護する対応を取った。シンガポール国内で保管発生した物資は2000トン程度になった。図-9、10に示すように多量の機材材料を屋外に長期間保管することになった。1~2年にわたる長期保管による品質劣化等も心配したが、プラント完成時問題なく稼働し胸をなでおろした。



図-9 配管プレハブ業者配管保管エリア

納期遅延の処理の客先ネゴはプラント引き渡し後も継続したが、契約条件による法的解釈を客先の弁護士と行い、最終的にはしこり無く決着した。

4. Marina Bay地域冷暖房プラント運用後の展開

No.1 Plant 建設においては、当社の責任外の想像を超える様々な問題が発生し、具体的な発生コストとして積み上がった。客先も真摯に当社が直面した困難に対して協力的に解決の方策を見出すことに協力してくれた。プラント完成時（2007年）時にはシンガポールでは2度と地域冷房プラントを建設に取り組むことは無いと考え、きれいさっぱりと引き上げる決心した。2002年から2007年の間に当社で検討した図面、計算書、CAD、Word及びExcelデータを提供し、シンガポールを引き上げた。飛行機がシンガポールを離陸する際は、二度と来ることはないと感慨にふけった。その後、Marina Bayの開発が急展開し、多数のビル及びカジノが建設されることが決定しNo.2 Plantの建設が決定した際、客先の判断としてNo.1 Plantの経験をもとにプラント建設請負発注では無く、客先SDC (Singapore District Cooling) みずから機器発注、工事設計、工事管理、据え付け試運転を行う決断をした。世界に多くの地域冷暖房プラントがあるが客先自らの設計、建設の事例は無いと思われる。地域冷暖房プラントは機器調達がポイントであるが、当社がNo.1 Plantで採用した機器メーカーが採用されるとともに、当社の冷凍機も採用された。現在は運用後の客先支援も継続して行い、中央監視装



図-10 サイト近接保管エリア

置の運転記録を貰い受け、Plant Optimization Project を客先と立ち上げ、運転データの解析、納入冷凍機の性能評価及び自動最適運転制御システムの開発に取組んでいる。

日本の地冷は冷暖房負荷があり、同一規準で比較するのは妥当ではないと思うが、プラント性能を1次エネルギー規準で比較したデータを図-11に示す。納入冷凍機のCOP実測も常時行っているが、最高性能機は平均COP 7.0程度で稼動している。No.1 Plantは、2007年、No.2 Plantは2010年に稼働し、本年度（2014年）に全ての投資回収が完了し、シンガポール政府の指導により冷水単価の引き下げが実施される。今後、将来プラントの建設が予定されており、赤道直下という地域冷房プラントビジネスは、経済性の高いビジネスであると考える。シンガポールは都市国家であり、地域冷房プラントの市場は限られているが、現在は客先といかにして地域冷房プラントの効率化が可能か議論している。

5. 所感

(1) 東南アジア地区地域冷房ビジネス政策に関して

東南アジア地区には、拠点も無い状態で地域冷房プラントビジネスを開始した。

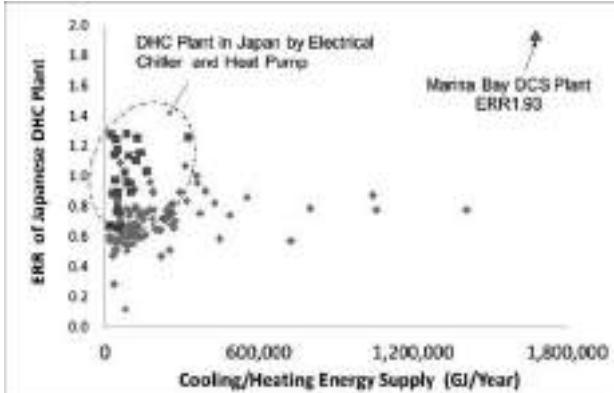


図-11 1次エネルギー規準COP比較（日本の地冷比）

No.1 Plant建設では多くの問題点が発生したが、それを乗り越え将来の展望につながった。No.1 Plant完成時には客先も含めて悲観的な見解に陥り、会社としての存続を危ぶむ声も聞こえた。Marina Bay 地区の長期に渡る開発構想をURA

(Urban Redevelopment Authority) が取りまとめている。国の発展のため海外投資を受け入れる政策も導入し、No.1 Plantの需要家ビルには多数のヨーロッパ系の企業が入居している。地域冷房プラントビジネスの繁栄は、その国の政策により大きく影響を受けると思う。シンガポールは都市国家であり、国による開発計画のコントロールはやり易いと考える。地域冷房プラントビジネスを展開していく上で、誰もが納得する料金決定メカニズムを適用し、議論の余地がないシステムが確立している。地域冷暖房プラントから冷水を受入れるか自前で冷凍機を持つかという日本で起る議論が起らぬ。またシンガポールでは、一般ビル空調用の熱源システムに対しては、BCA (Building Construction Authority) がグリーンマーク制度を設けており、ビルの熱源システムのエネルギー消費の規制を設けている。

マレーシアでは地域冷房プラントの法的拘束がないので、投資を抑え、短期間での投資を回収するスタイルが多々見られ、コスト最優先のため当社も含めて苦戦することが多い。シンガポール及びマレーシアは、当社を含めた日本関係者が地域冷房の概念を広めた効果により、地域冷房プラントはビジネスとして根付いたが、タイ、インドネシアにはあまり展開されていないのが残念である。

(2) 契約履行に関して

契約条件の履行については、世界の中でも最もきつい国の部類に入ると考える。重要なことは、人々の信用を勝ち取ることである。Marina Bay No.1 Plantの契約時には、客先との信頼関係が無く、多くのペナルティー条件（設計遅延、性能未達、納期遅延）を課せられた。現在ではこれは信頼関係皆無であったためと納得している。

“Know How”より “Know Who” も海外ビジネスでは重要な要素であると考える。

ちなみにNo.1 Plantがテナントとして入居したビルを建設した会社の契約条件もさまざまなペナルティー条件が設定してあると聞いていた。

納期遅延ペナルティー設定の考え方とは、ビル及び設備を当初のスケジュールで運用して得られる顧客

利益の損失補償、また、機械性能未達のペナルティーは、運用経費増大の被害保証という立場で考えると、当然主張すべき権利と考える。海外インフラ輸出を行うには、リスク管理を考慮した契約対応が必要であるが、そのリスクを取った上で欧米系の企業は積極的に勝負をかけてくる。受注時には政治的な判断が必要になる。地域冷房プラントビジネスは、一度建設すればメンテナンス契約及びプラント拡張商談等将来的なビジネス展望が開けるので、将来のビジネスプランを考慮した受注戦略の立案が必要であると考える。

(3) 地域冷房プラントの信頼性について

地域冷暖房プラントは起動後、2度と止められないプラントであり、極度の信頼性が要求される。この点については、機械設備より受変電設備及び中央監視装置の信頼性設計がポイントとなる。“地域冷暖房プラントは起動後、2度と止められないプラント”という命題はいつも頭によぎる。地域冷房プラント停止は、街全体の機能停止と考え自戒し業務を行ってきた。

(4) インフラ輸出の困難さ

世界の中で生き残るために、性能1番コスト1番（最安値）でないと客先は相手にしてくれない。

日本の機械の優秀さをいかに売り込んでも評価につながらない場合が多く、無力感にとらわれる場合がある。米国等の競合他社は、もっと客先をとらえる製品つくりをしていると理解し、努力するしかないのが現実であると考える。また、街づくりはスケジュールがあってないようなもの。将来のビジネスの種まきを行い、あとは気長に機が熟すのを待つかないのもつらい現実である。

(5) 海外メーカー製品に関して

仕様、図面、制御機能等をチェックしておかないとまともに運転できないケースがあることを頭に入れ対応する必要あると思う。特に特注の制御パネル及び中央監視装置は、注意必要であると考える。

最後に当社のNo.1 Plant建設においては予想以上の問題が発生し、関係者（当社プロジェクトメンバー、機器納入メーカー、工事業者）へ多大な迷惑をおかけした。そのような状況でも多大な支援及び問題解決の対応をしていただいた。また、客先SDC (Singapore District Cooling) は、当社に対する高い評価を業界のセミナー及び研究会で述べて頂き、その後の増設もすべて三菱重工製のターボ冷凍機を採用して頂いており、感謝する次第である。

赤坂一丁目地区における 自立エネルギー型都市づくり

赤坂一丁目地区市街地再開発組合
事業協力者：新日鉄興和不動産株式会社
設計者：株式会社 日本設計

1. はじめに

近年、都心の大規模再開発ビルの省エネルギー・CO₂削減対策の進展は目覚しい。さらに、震災により自立エネルギー型ビルのニーズが高まり、省CO₂とBCPの両立を目指す自立エネルギー型都市づくりの実現が課題になっている。

平成25年度、国土交通省は、「エネルギーの融通（建物間のエネルギー融通）、省エネ（建物の環境性能の向上）、創エネ（未利用・再生可能エネルギーの導入）について一体的な実施を図る事業」に対する補助制度として、自立エネルギー型都市づくり推進事業を創設した。本プロジェクトは、その第1回認定事業である。

2. プロジェクト概要

本プロジェクトは、赤坂一丁目地区第一種市街地再開発事業を中心に、隣接する赤坂六本木地区地域冷暖房と連携して、エコまちづくりの実現を目指したものである。

赤坂一丁目地区は、アジアヘッドクオーター特区内に位置し、特定都市再生緊急整備地域にも指定されている国内でも屈指の先進性・国際性をもったエリアに位置している。霞が関、新橋・虎ノ門、六本木等が隣接し、大使館などが立地するとともに、交通アクセスの面でも恵まれた立地となっており、次世代に向け多くの可能性を持ったポテンシャルの高い地区となっている。

赤坂一丁目地区第一種市街地再開発事業は、地上37階建ての超高層テナントオフィスビルを中心には、店舗、コンファレンス、住宅などを有する延床面積約175,300m²の複合施設である。（図1、表1）今後、外堀通り、六本木通り、外苑東通り、桜



図1 建物外観

表1 建築概要

事業名称：赤坂一丁目地区第一種市街地再開発事業

延床面積：約175,300m²

規模：地上37階、地下3階、塔屋1階

建物用途：事務所、店舗、コンファレンス、共同住宅

解体着工：2013年12月

新築着工：2014年7月（予定）

竣工：2017年4月（予定）

田通りに囲まれた「大街区」北エリアのリーディングプロジェクトとして、周辺地域とも連携した積極的な緑化や、防災性の高いまちづくりを進め、心地よい時間が流れる“新しいまち”を生み出していく予定である。

3. まちづくりのコンセプトと計画概要

赤坂一丁目地区第一種市街地再開発事業では、地域の発展に寄与するために、次の5つのコンセプトを掲げ、まちづくりに取り組んでいる。

①多彩な都市機能が融合した高度複合拠点の形成

業務・住宅・生活支援などの面で、都市生活者にとって利便性に優れた、国際性・文化性豊かな高度複合拠点を形成する。

②駅結節点の強化と新たな回遊性の創出

東京メトロ「溜池山王」駅地下道から延伸したバリアフリー対応の地下鉄連絡通路・地下鉄連絡広場を新設し、快適な歩行者ネットワークを形成する。

③都心有数の緑化空間の創出

建物を六本木通り側に片寄せして、広大な公開空地を創出し、そこに地域在来種を中心とした樹木を配している。人の歩く目線で緑を感じられるように、土を盛り上げ丘状に緑化し、地域の貴重なクールスポットとしている。この地区は赤坂虎ノ門緑道計画の北西の起点となっており、将来ここから環状二号線を経て新橋までグリーンベルトがつながる計画を進めている。

④防災性が高く安全で快適な市街地環境の形成

BCP対応として、デュアルフューエルの非常用発電機とガスコジェネレーション設備を備え、災害による停電時でもオフィス専有部にも事業継続を可能にする一定の電力を供給するとともに、災害時に課題となる給排水機能を確保するなど、有事の際の対応を想定した計画となっている。また、コンファレンスは災害時帰宅困難者の一時避難スペースとしても機能する。

⑤環境技術導入による環境負荷の軽減

省CO₂技術の積極的な導入はもちろんであるが、それらに加えて、テナント使用エネルギーの見える化と設備容量の適正化を大きな目標として設定した。テナントビルでは、テナントへの意識付けと協力がない限り十分なCO₂削減の成果をあげることは難しい。テナントエネルギーの見える化により、テナントが具体的な数値目標を立てやすくなり、更なるCO₂削減が図れると考えている。また、設備容量に関しては、新築時の想定と実稼働との乖離が近年さらに大きくなってきており、無駄の少ないサイ

ズに適正化していくことを目指した。

4. 再開発におけるエコまちづくりの課題

大規模再開発は、エコまちづくりによる削減ポテンシャルが大きい。しかし、エコまちづくりを実現する上で、次に示すような課題がある。

①震災により自立エネルギー型ビルのニーズが高まり、省CO₂とBCPの両立を求められる。

②高効率システム導入の効果が再開発地区に限定され、周辺の既存建物がその恩恵を受けることができない。

③エネルギーの面的利用は、関係者が多く、合意形成が難しい。

④建物側と熱供給側との運転制御の連携が難しい。

⑤建物側のニーズではなく、既存の供給条件に合わせて空調システムが構築されている。

⑥建物側の設備容量は過大化、熱負荷・エネルギー消費量は減少傾向で、ミスマッチが生じている。

本プロジェクトでは、開発事業者、熱供給事業者、エネルギーサービス事業者が良好な協力関係を構築し、コンサルや行政がサポートしてエコまちづくりの実現を目指している。

5. エコまちづくり・省CO₂のコンセプトと計画概要

5-1. 先導的省CO₂テナントビルのコンセプト

本事業は、省CO₂技術の導入も積極的に行っていながら、特に次の3つのコンセプトを核として、先導的省CO₂テナントビルの実現を目指している。

①DHCエリア拡張型エネルギー面的利用

②地域冷暖房連携による中温冷水利用高機能省エネ空調システム

③大規模テナントオフィスビルにおけるエコサポートシステム

先導的省CO₂テナントビルの全体像を図2に示す。これらの取り組みにより、基準となる標準的な建築物に比べて、約35%削減の省エネ建築物となっている。本稿では、①、②について述べる。

5-2. DHCエリア拡張型エネルギー面的利用

エネルギー供給システムは、単独でシステムを構

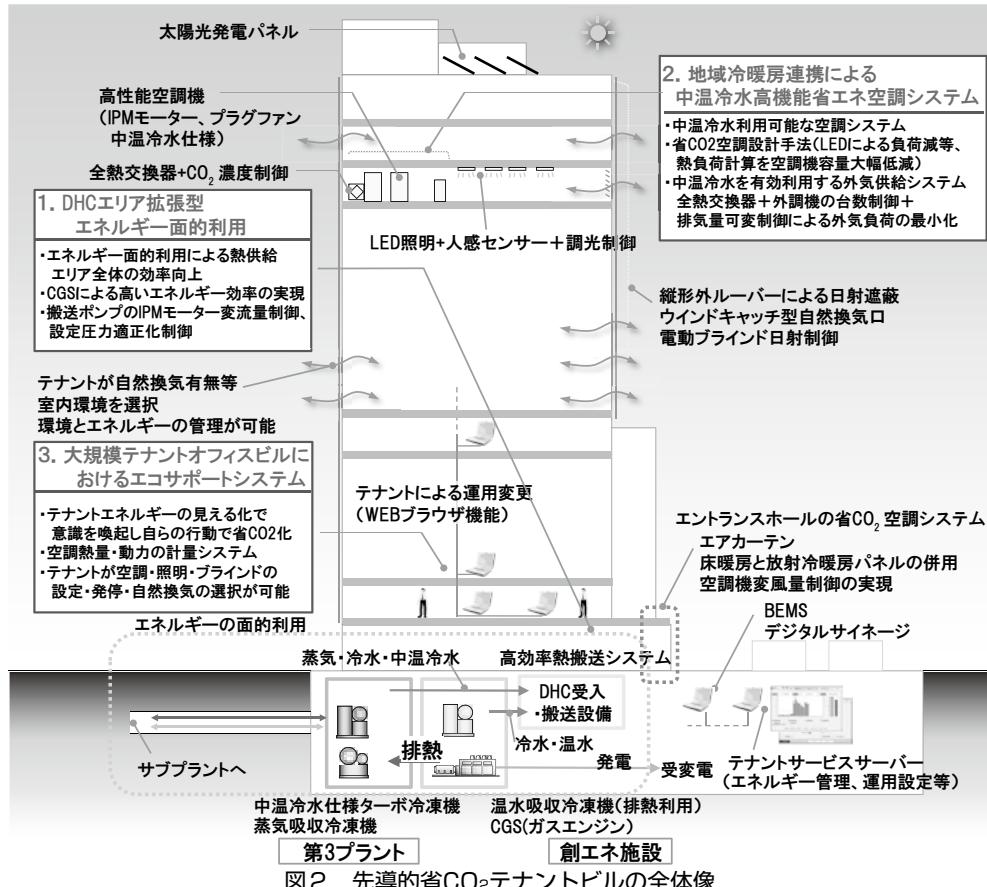


図2 先導的省CO₂テナントビルの全体像

築するか、敷地に隣接する既存の地域冷暖房区域を拡張してシステムを構築するか選択可能であったが、前述した工口まちづくりの課題を踏まえて、全体のシステムを検討した。

検討の結果、建物内に高効率ガスコージェネレーションシステムを設置するとともに、既存地域冷暖房の隣接地区における大規模再開発において、エリア拡張によりエネルギーの面的利用を実現し、地区全体の省CO₂に貢献できるシステムとした。地域導管の道路縦断は容易ではないと言われるが、熱融通配管によるエネルギー一面的利用の計画を、国や東京都でも後押ししてもらい実現に至っている。エネルギー供給システムの概念を図3に示す。考え方を整理すると、次のようになる。

- ①既存プラントの供給能力不足のため、建物内に第3プラントを新設
- ②温熱源の不足分として、高効率コージェネレーションを新設
- ③メインプラント・サブプラント・第3プラント間の蒸気連携によるエネルギーの面的利用
⇒コージェネの優先運転による蒸気ボイラーの削減

④サブプラント・第3プラント間の冷水連携によるエネルギーの面的利用
⇒高効率冷凍機の高負荷優先運転

⑤2次側空調システムと第3プラント間の連携による中温冷水利用空調システムの構築
⇒冷凍機の超高効率運転
自立エネルギーとして導入する高効率ガスエンジンコージェネレーション(CGS) 1,253kW×2基と温水焚吸収冷凍機290RT×1基は、エネルギーサービスとした。エネルギーサービスは、効率的な運用に高度なノウハウが必要なCGSや熱源の導入・保守・運用を専門家に任せ、その対価を電気料金・熱料金として支払う事業である。CGSはDSS運転方式とし、電気・温水・冷水は建物側へ、蒸気は地域冷暖房へ供給する。温水は年間供給で、冬期の暖房と給湯予熱・加熱に利用し、冷水は夏期、中間期のみの供給とし、CGS系統の熱交換器を介して2次側へ供給する。冷水は流量制御、温水は蒸気との直列運転により、建物側で使用される冷温水のベース負荷を賄う。

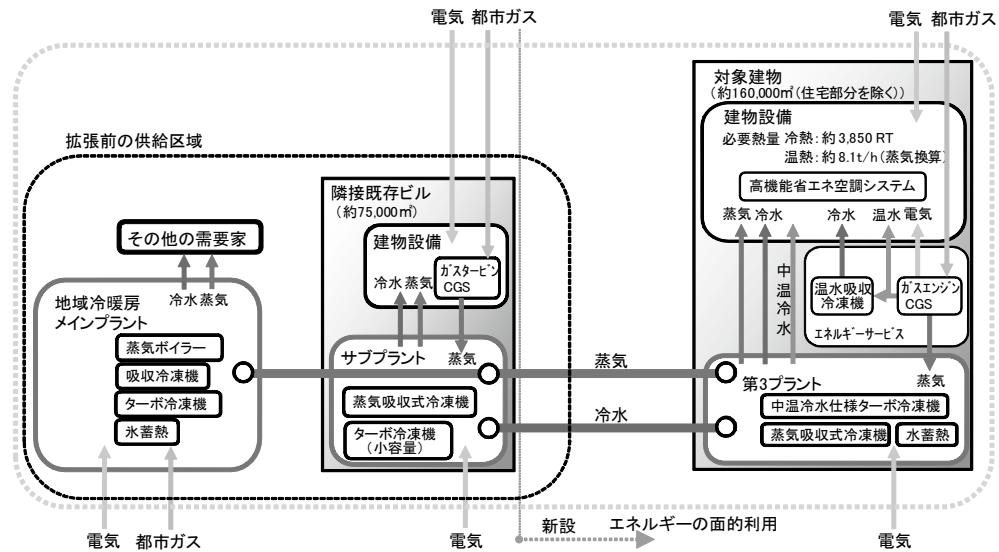


図3 エネルギー供給システム概念図

5-3. 地域冷暖房連携による中温冷水利用高機能省エネ空調システム

(1) 地域冷暖房連携の中温冷水供給システム

冷凍機の超高効率運転を図るために、建物の2次側空調システムと連携した地域冷暖房「初」の中温冷水供給システムを導入した。ターボ冷凍機は約27%省エネルギーとなる。中温冷水供給は、冷水・温水・中温冷水の6管式か、冷水温度を高くした中温冷水・温水の4管式が一般的であったが、本計画では、中温冷水と温水の季節切換による冷水・冷温水の4管式とした。

(2) 高効率熱搬送システム

熱搬送システムは、高さにより3ゾーンに分割するとともに、熱媒の種類により、冷水系統と冷温水系統に分け、合計6系統で供給している。高効率熱搬送システムの概念を図4に示す。搬送エネルギー

を低減するために、低層冷水系統のみ地域冷暖房からの直接供給方式、それ以外の5系統は間接受入方式とし、各系統3台の2次ポンプ群による変流量システムとした。2次ポンプはIPMモータとし、制御方式は、空調機DDCとの連携による送水圧力設定制御としている。

(3) 高機能省エネ空調システム

基準階事務室の空調は、窓際個室の冷暖房混在に対応可能なペリメータ、大部屋主体で冷暖房切換のインテリア、コア側の個室空調に対応可能なコアサイドの3ゾーンに分けるとともに、外気供給+湿度調節機能と温度調節機能を分化し、自由に組み合わせることで、さまざまなニーズに対応できる機能分化型のマルチダクト空調システムを導入した。基準階空調・換気システムの概念を図5に示す。

外気供給+湿度調節機能は、全外気から最小外気

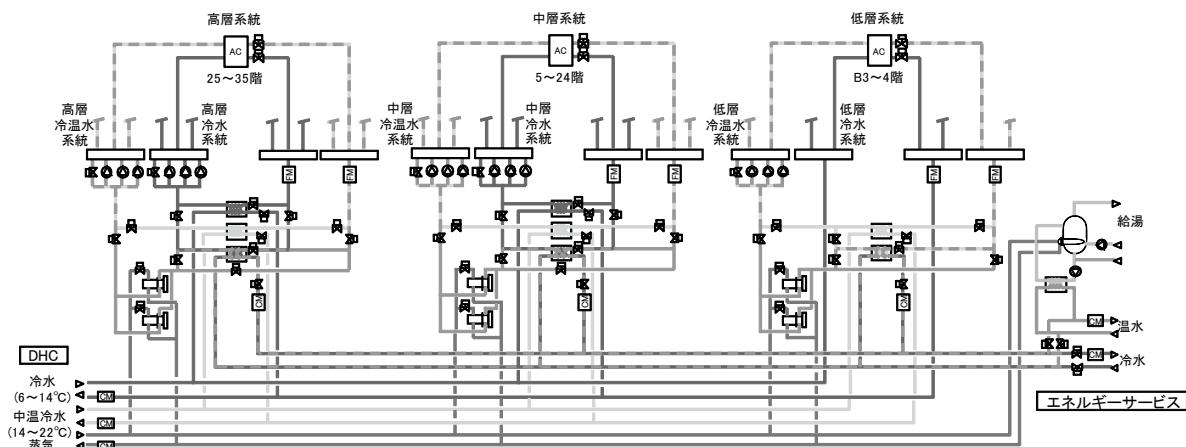


図4 高効率熱搬送システム概念図

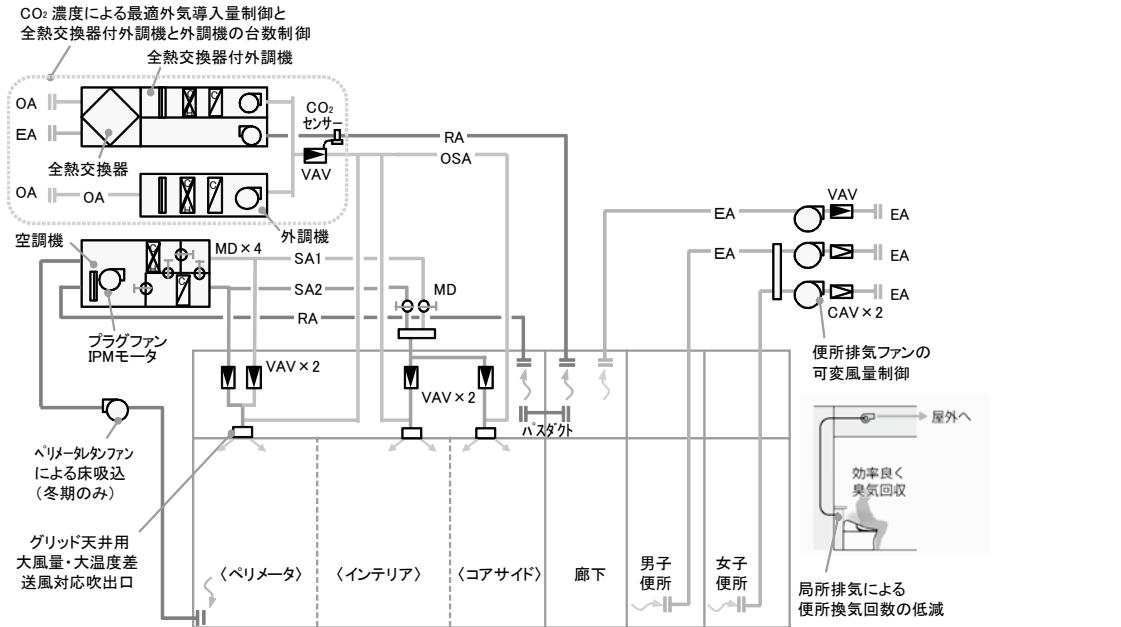


図5 基準階空調・換気システム概念図

までの可変外気量運転を可能とし、クールビズにも対応できるように、外調機によって除湿・加湿を行う。温度調節機能は、空調機・VAVによる変風量制御とし、冬期に冷暖房が混在する場合でも、温風と冷風の給気温度と風量の組合せにより、自由な温度調整を可能としている。

冷却機能は、冷水と中温冷水の2つの役割に分けることで、熱源システムと2次側システムを協調させ、熱源運転効率の向上に寄与するシステムとした。冷水は、 $7^{\circ}\text{C} \rightarrow 15^{\circ}\text{C}$ とし、外気後処理用、レ

タン空気後処理用、テナント用予備冷水に利用する。中温冷水は、 $15^{\circ}\text{C} \rightarrow 23^{\circ}\text{C}$ とし、外気前処理用、レタン空気前処理用に利用する。中温冷水利用空調の概念を図6、図7に示す。

中温冷水は、負荷が小さい夜間や中間期で、熱源運転効率の向上よりも、搬送エネルギーの増加の方が大きくなる場合は、2次ポンプを停止する。また、冷水と中温冷水の受持比率は一定ではなく、状況に応じてファジーに変化させるシステムとした。

空調機は、吹出温度 12°C 、レタン温度 30°C で吹出温度差 18°C の超大温度差送風システムとした。空調機風量の制御範囲を $0 \sim 100\%$ とすることで、変風量制御と間欠運転制御を組み合わせて、さらに空気搬送エネルギーを低減している。

外調機は、全熱交換器とCO₂濃度による最適外気量制御を導入し、外気冷房も可能とした。CO₂濃度制御と便所排気により全熱交換器に戻ってくるレタン量が減り、全熱交換器の効果が無くなってしまうため、1フロア2台の外調機をヘッダーダクトで繋ぎ、西側外調機を全熱交換器付き、東側外調機を全熱交換器無しとした。便所排気とのエアバランスを考慮し、必要外気量が一定量以下になった場合は、台数制御により東側外調機を停止する。便所排気ファンは、1ヶ所あたり2台設置し、便所の人感センサーと事務室のCO₂濃度により台数制御を行う。人が居ない時に便所の排気量を $10\text{回}/\text{h}$ から $5\text{回}/\text{h}$

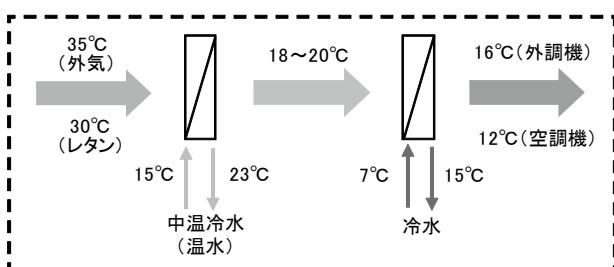


図6 中温冷水利用の概念図

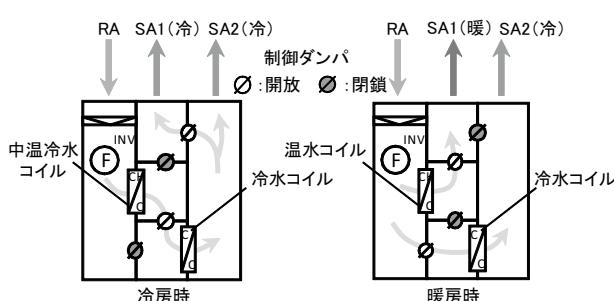


図7 空調機内の空気の流れ

に絞ることで、全熱交換器の効果を高めている。

(4) 省CO₂空調設計手法

中温冷水の利用比率を高め、設備容量を最適化する省CO₂空調設計手法を開発した。一般的には、図8に示す通り、天井裏まで含めてひとつの室として熱負荷計算しているが、省CO₂空調設計手法では、図9に示す通り、インテリア、ペリメータ、天井裏を別の室とし、照明負荷は20%が室内放熱、80%が天井裏放熱として計算した。これにより、空調機のレタン温度を高くすることができ、中温冷水の利用比率を高めることが可能になる。

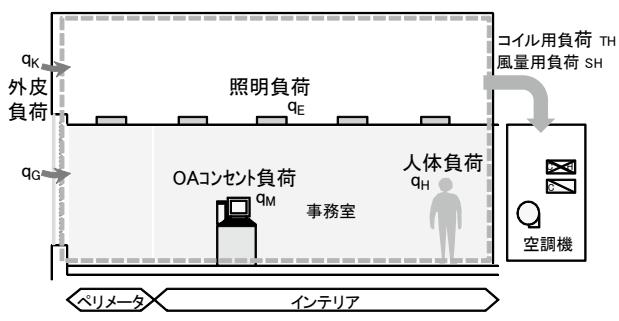


図8 従来型の熱負荷計算概念図

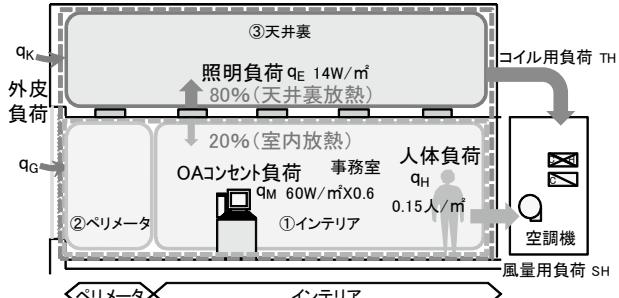


図9 省CO₂空調設計手法における熱負荷計算概念図

6. まとめ

既存地域冷暖房の隣接地区における大規模再開発において、エリア拡張によるエネルギーの面的利用を実現し、さらに建物の2次側空調システムと連携して、地域冷暖房「初」の中温冷水供給により超高效率化も実現している。これらの先導性・先進性が高い取り組みにより、地区全体の省CO₂に貢献している。

また、設備容量の最適化と中温冷水利用比率の向上が可能な省CO₂空調設計手法を開発するとともに、中温冷水システムを4管式や地域冷暖房で実現するなど、今後の波及性・普及性にも期待したい。今後は、詳細シミュレーション、竣工後の評価・検証まで継続的に行う予定である。

新宿新都心地域冷暖房における 低炭素まちづくりへの貢献

株式会社エネルギー・アドバンス 都市エネルギー・サービス部 田中 一史

1. はじめに

新宿新都心地域冷暖房は、1971年（昭和46年）から新宿副都心エリアの超高層ビル等に空調用冷水・蒸気を供給してきた。街の発展とともに設備の規模を拡張し、また、その時々の環境・エネルギーの課題に対応すべく設備の内容を見直してきた。

熱供給開始から43年が経過し、新宿新都心地域冷暖房は2度目の設備更新時期を迎えていた。今回の設備更新では、現在の街づくりにおけるニーズである「低炭素」と「防災」の両面で貢献すべくいくつかの取り組みに着手したのでそれを紹介する。

2. 新宿新都心地域冷暖房の概要

当地区の供給区域図を図1に示す。昭和40年代に淀橋浄水場跡地が民間開発事業者に売却され超高層ビルの建設が始まった。当時は、重油の使用に伴い発生する二酸化硫黄のもたらす大気汚染が深刻化していたため、新宿副都心の開発では熱源を集約し



図1 新宿新都心地域冷暖房区域図



事業開始当時（1971年） 現在
図2 新宿新都心熱供給プラント

良質な燃料を使用することで大気汚染防止と省エネルギーを図ることができる地域冷暖房が導入された。熱供給プラントでは、都市ガスを燃料としたボイラで400°C、4.0MPaの蒸気を製造し、その蒸気により蒸気タービン駆動ターボ冷凍機を運転し冷水を製造する。また、400°C、4.0MPaの蒸気を200°C、1.0MPaに減温減圧し供給用の蒸気として送出する。

新宿副都心エリアでは、1971年の京王プラザホテル開業を皮切りに順次超高層ビルが建設され、1991年の東京都庁舎の移転により浄水場跡地エリアの開発は完了した。新宿新都心地域冷暖房は、東京都庁舎の移転に合わせて、増大する熱負荷への対応と老朽化設備の更新のために1991年から1994年にかけて熱源設備を全面的に更新した。その頃には1971年当時に深刻だった大気汚染は解消され、都市のエネルギー・システムにおいては温暖化ガスの削減、未利用エネルギーの活用が主なテーマとなっていた。新宿新都心地域冷暖房においては化石燃料の一層の有効活用を図ることでCO₂排出量を削減することを目標として、ガスコーチェネレーションシステムを組み入れた熱源構成することで時代の要請に応えるシステムとした。

熱源システムとしては、従来の蒸気タービン駆動ターボ冷凍機と蒸気ボイラの組み合わせにガスコージェネレーションを加え、発電廃熱の有効活用による温暖化ガスの削減を図った。ガスコージェネレーションは2基設置し、1基は隣接する新宿パークタワー向けの発電を行い、1基は熱供給プラント自身で使用する電力を発電した。また、蒸気の持つエネルギーを有効に活用するために蒸気タービンの駆動に使用した蒸気の一部を蒸気吸収冷凍機の熱源として使用するトッピングシステムを採用した。1998年には、新宿新都心地域冷暖房の熱供給対象建物は22棟、総延床面積は約220万m²となり日本最大規模の地域冷暖房となった。

現在、新宿新都心地域冷暖房は1991年の大幅な設備更新以来20年以上が経過し再び設備更新時期を迎えており、今回の設備更新においては、地域のエネルギーセンターとして「低炭素」「防災」の両面で貢献するための取り組みに着手している。次の章でその取り組み内容を紹介する。

3. 「低炭素」「防災」まちづくりのための取組

3.1 取組の概要

今回の設備更新における取り組みの概要を図3に示す。設備更新においては、エネルギー使用量に大きな影響を及ぼすベースロード用冷凍機を高効率機に更新し、併せて最新の発電設備を導入することで、CO₂排出量の大幅な削減と系統電力停電時の保安電力確保を図ることとした。さらに、その効果を供給区域内だけではなく周辺地区に波及させるために、隣接する地域冷暖房との熱融通や供給区域外の周辺建物への熱供給を実施することとした。また、東京都庁舎の電源多元化を支援するために熱供給プラントから東京都庁舎への電力供給も実施している。

これらの計画は、2011年度から着手し一部に

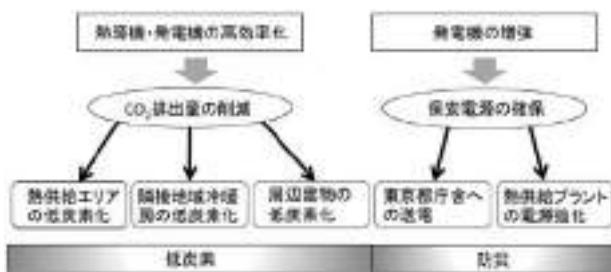


図3 取組の概要

についてはすでに運用を開始している。計画がすべて完了するのは2016年頃になる見通しである。

3.2 热源機・発電機の高効率化更新

設備更新の計画策定にあたっては、24時間365日熱供給を停止できない施設の特性を踏まえ、現状の熱供給に影響を与えないことを最優先の条件とした。また、前回1991年の設備更新が熱供給プラントを収容する建物自体の更新を伴うものであったのに対して、今回の更新は建物を継続使用することが大前提であったことから、限られたスペースで最大限のCO₂削減効果が得られる更新とする必要があった。そこで、効率改善余地の大きな冷水製造工程に焦点を絞り、年間運転時間が長いベースロード機のみを更新することとした。

具体的には、蒸気タービン駆動ターボ冷凍機のうち、1991年の設備更新以前から使用している2基を撤去し、そのスペースに電動ターボ冷凍機を導入した。また、熱供給プラントの将来増設スペースを活用し近年発電効率の向上が進んでいるガスエンジンコージェネレーションを導入し、電動ターボ冷凍機や搬送ポンプ等の電力を発電し、同時に廃熱を余すことなく利用するシステムを構築することとした。熱源システムのフロー図を図4に示す。

設備更新の効果の推定にあたっては、新宿新都心地域冷暖房のような複雑な熱源システムのシミュレーションが可能なプログラム“SPREEM”(Simulation Program for Regional Energy and Environment Management)^{1) 2)}を使用した。SPREEMにおいて、熱源設備、発電設備、およびその容量を変化させた10以上のケースについて計算し、エネルギー消費量と経済性を評価した結果、図4にあるシステムが最適であると判断した。今回の更新により一次エネルギー使用量、CO₂排出量をそれぞれ約25%削減できる見通しである。設備更新前後の一次エネルギー使用量、CO₂排出量見込みを図6に示す。発電機の増強は、熱供給プラントの電源強化に貢献し、系統電力停電時にも一定量の熱供給を継続することができるようになる見込みである。

冷凍機の更新は2014年3月に完了し、これから発電機の増強に着手する。

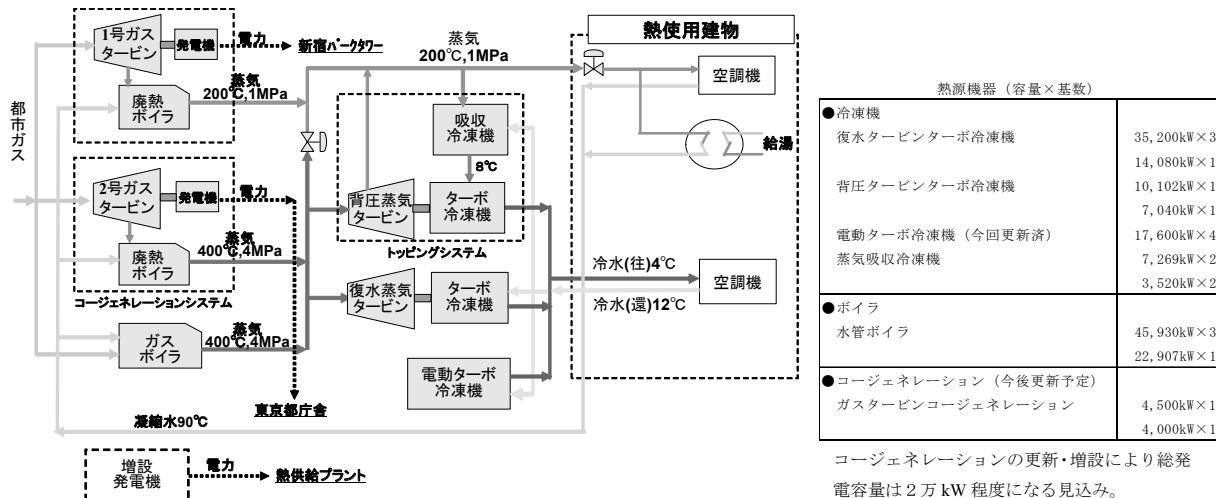


図4 热源システム (2014年3月時点)



図5 更新後の電動ターボ冷凍機

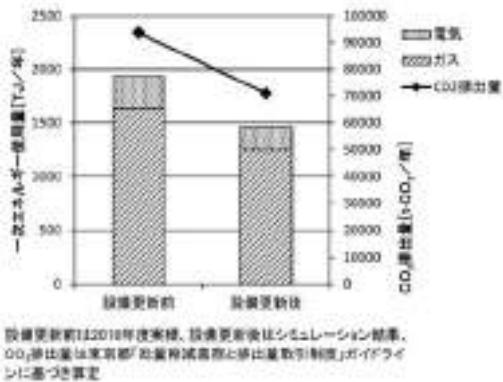


図6 設備更新前後の一次エネルギー使用量、CO₂排出量

3.3 隣接する地域冷暖房への熱融通

熱源設備と発電設備の高効率化による低炭素効果を熱供給区域内だけではなく、隣接する地域冷暖房でも活用するために、西新宿一丁目地域冷暖房との間に熱融通導管を敷設した。西新宿一丁目地域冷暖房の設備規模は冷凍機能力で28,864kWであり、新宿新都心地域冷暖房の約8分の1の規模である。西新宿一丁目地域冷暖房には2か所の熱供給プラン

トがありそれらを連携して運用している。熱供給プラントはそれぞれ建物の地下5階、地下6階に位置し、熱源機の搬入やプラントスペースに制限があることから、新宿新都心地域冷暖房のような大規模高効率機の導入が難しい。そこで、新宿新都心地域冷暖房からの冷水を引き入れ、その冷水を優先的に活用することで、西新宿一丁目地域冷暖房の老朽化が進んだ既設の熱源機の運転を抑制することができる。また、新宿新都心地域冷暖房にとっては、熱源機の負荷率が向上し一層のエネルギー効率の向上が期待できる。

熱融通の効果により、両地区合わせて年間3,000t-CO₂のCO₂排出量の削減が可能であると見込んでいる。



図7 隣接地区、周辺地区への熱供給



図8 活管分岐工法による導管分岐

熱融通導管は、冷水の往還2系統であり口径350mmの導管を約200mにわたり敷設した。施工にあたっては、冷水供給を停止せずに導管を分岐する活管分岐工法を適用した。(図8参照)工事は2011年度から2012年度にかけて実施し2013年度から運用を開始している。なお、本事業は、環境省の低炭素化に向けた事業者連携型モデル事業(2011年度、2012年度)に採択されている。

3.4 周辺地域への熱供給拡大

隣接する地域冷暖房への熱融通と同様の考え方で、新宿新都心地域冷暖房の低炭素効果をさらに供給区域外に波及させるために、2013年度の国土交通省先導的都市環境形成モデル事業の採択を受け、供給区域の周辺に熱供給を行うための導管敷設に着手している。対象となる建物は延床面積5万m²の事務所ビルであり、建物設備の改修時に個別熱源

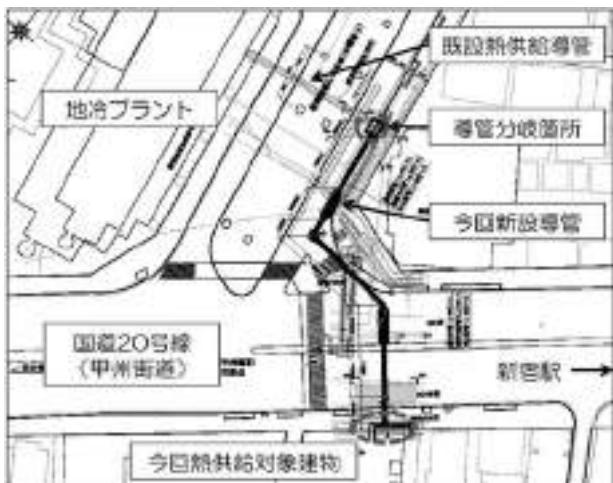


図9 周辺建物への熱導管新設

から地域冷暖房に切り替える。新宿新都心地域冷暖房の熱供給プラントとは国道20号線を挟んだ場所に位置する。(図7参照)当該建物に熱供給を行うために、既設熱供給導管から分岐し、冷水400mmの往還、蒸気150mm、凝縮水50mmの4系統の導管を約90mにわたり敷設する。

当該建物が新宿新都心地域冷暖房からの熱供給に切り替えることで、年間約400t-CO₂のCO₂排出量を削減できる見込みである。

本事業の実施にあたっては、2009年度から関係機関との事前協議を開始した。途中東日本大震災で手続きを中断した後、2012年度に東京都地域冷暖房区域変更手続き、2013年度に都市計画決定(新宿区、渋谷区)、道路占用許可、道路使用許可、熱供給区域変更許可を取得し、2013年度末に工事に着手した。工事が完了し熱供給を開始するのは2015年度の予定である。

導管敷設予定箇所は交通量の多い国道であり、本来は推進工法で計画するところではあるが、導管敷設ルート上に京王新線、共同溝、大口径水道管等の様々な地下埋設物があるため、推進工法の立坑の場所を確保することが困難である上、工事費も大きくなる恐れがあった。一方、開削工法は工事時間と工事範囲が限られるが、推進工法に比べて工事の確実性が高く工事費を抑制できることから、道路管理者、埋設企業者および警視庁と協議を行い、開削工法により導管敷設を行うこととした。今回敷設する導管は、熱供給対象建物の周辺への熱供給も可能な容量を選定しており、周辺の開発計画に合わせて低炭素効果のさらなる波及を図ることを見込んでいる。

3.5 東京都庁舎への電力供給

東日本大震災以降、東京都が打ち出した都庁舎の「電源の多元化」、「電力供給の信頼性向上」を実現するために、2012年12月から新宿新都心地域冷暖房内の既設発電機を用いて東京都庁舎に電力を供給している。具体的には、従来熱供給プラント向けに発電していた既設発電機を都庁舎専用発電機として整備し発電機から都庁舎の電気室につながる専用ケーブル(自営線)を敷設した。熱供給プラントに

とっては一時的に常用発電機がなくなるが、先に紹介した通り数年後には熱供給プラント専用の大型発電機を導入する予定である。

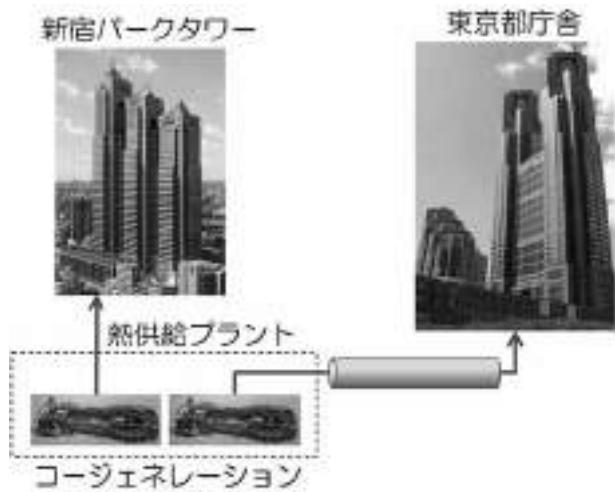


図10 東京都庁舎への送電概念図

発電機は、都庁舎の電力需要の約三分の一の電力を発電し、発電廃熱は地域冷暖房の熱源として活用している。都庁舎は、通常時は電力需要の高い昼間の時間帯に発電機からの電力を受電し系統電力と連系して使用している。系統電力停電時には、都庁舎の機能維持に必要な電力を発電機から受電することとしている。



図11 送電ケーブル敷設状況

4. 今後の展望

設備更新工事は冷凍機の更新が完了し、これから発電機の増強に着手する。一連の取り組みはエネルギーの供給側の対策に終始しているが、熱・電力の需要先との連携の中で低炭素化を進めていくことが今後の課題であると認識している。当社は、2014年度から田町駅東口北地区において需給の最適化手法としてスマートエネルギー・ネットワークの運用を開始するが、その効果を検証し新宿新都心地域冷暖房への適用を検討してきたい。

本原稿は、「エネルギー・資源」(Vol.35 No.3 (2014)、一般社団法人工エネルギー・資源学会)に投稿した原稿を一部修正して掲載しています。

参考文献

- 1) 丹羽、杉原、松縄、市川他：地域におけるエネルギー・環境マネジメントに関する研究（第1報～第3報）シミュレーションプログラム（SPREEM）の開発 ほか、空気調和・衛生工学会講演論文集、2007.9、2008.9
- 2) 丹羽、林、松縄、工月他：まちづくりのためのカーボン・エネルギー・シミュレーションツール開発（第1報～第4報）、空気調和・衛生工学会講演論文集、2008.9、2009.9、2010.9

－海外情報－

欧州のエネルギー自立型・低炭素都市づくりを支える スマートエネルギーネットワーク先進事例調査 第1報 デンマークの広域熱供給事業発展の背景にあ るエネルギー政策と事業成立に至る計画プロセス

国土交通省都市局市街地整備課拠点整備事業推進官
東京ガス株式会社 エネルギー企画部エネルギー計画G副部長

鎌田 秀一
工月 良太

1. はじめに

2013年の欧州環境首都に選ばれたデンマーク・コペンハーゲン市は、デンマーク政府が掲げた「2050年時点で化石燃料ゼロ」¹⁾という野心的な目標を達成するために、都市スケールで先導的な取組みを実践する都市である。デンマークは1970年代からエネルギー効率化や環境負荷の低減、経済の活性化の面から、国策として高効率な分散型電源と広域熱供給ネットワークの整備を進めてきたが、近年はICTの発達、風力発電の推進と北欧圏の電力取引市場の進展等を背景として、これまでに構築してきたエネルギーインフラのスマート化を積極的に進めている。

筆者らは、一般社団法人都市環境エネルギー協会が主催した「欧州のエネルギー自立型・低炭素都市づくりを支えるスマートエネルギーネットワーク先

進事例調査（2013.11.10～11.16）」への参加を通じ、環境首都賞の受賞で勢いのあるコペンハーゲン市を訪ね、この政策の実務の統括官や、同国を代表する熱供給システムのエンジニアらと面会し、熱意ある説明を受ける機会を得た。

本稿では、事業の成立を支える国や自治体の制度面の概要を述べる。システムの技術的な面等は次報以降で述べる。

2. デンマークにおける広域熱供給の推進の経緯

デンマークでは、1973年～74年のオイルショックの経験を経て、地域熱供給法（District Heat Supply Act）が1979年に成立し、以来継続的に改定を続けている。同法では発電の廃熱利用を必須とし、2011年までに695か所のCHPが建設された。現在専焼火力発電所はゼロになった。



デンマーク気候・エネルギー建築物省訪問時の様子（2013.11.11）

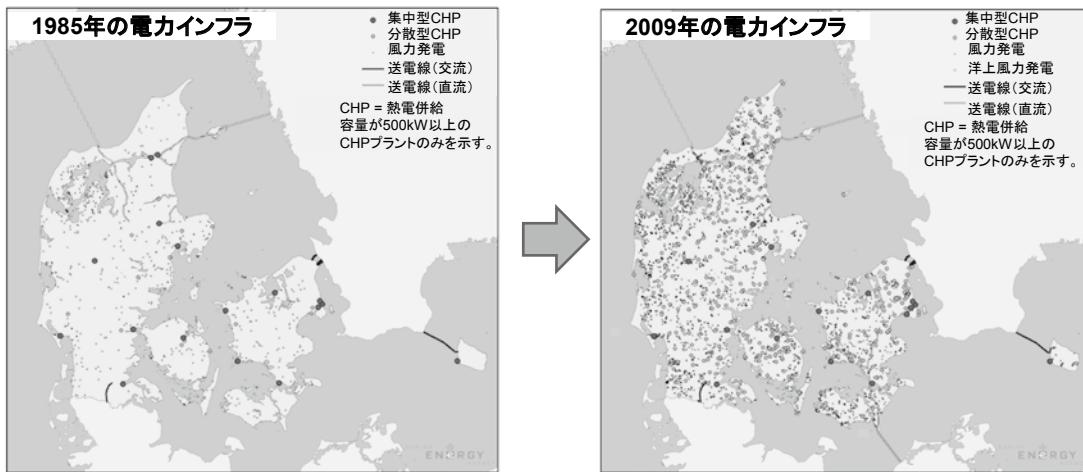
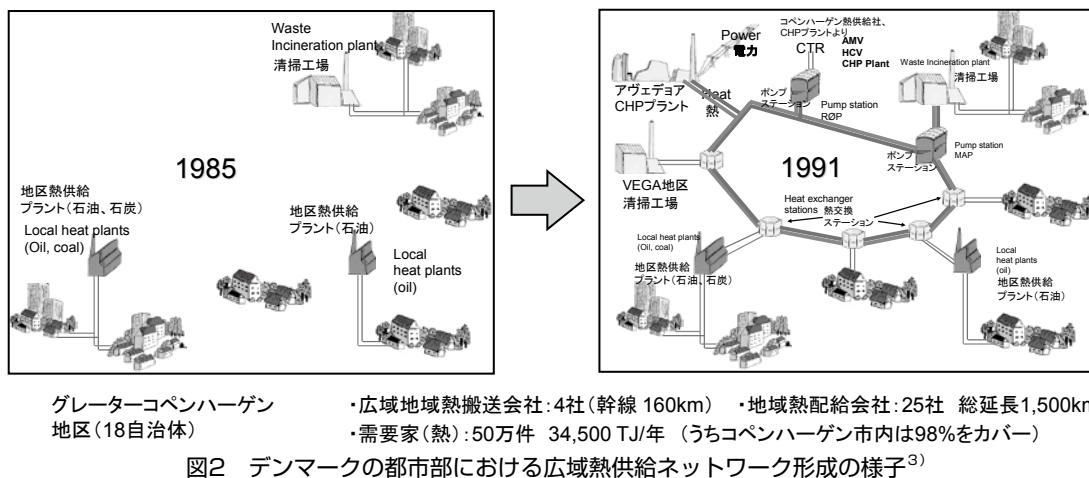


図1 デンマークにおける分散型電源の進展の様子²⁾



現在も中央政府の強いリーダーシップのもとで、「2050年時点でエネルギー供給に占める化石燃料の割合をゼロとする」という野心的な目標が掲げられ、それに向けた中期目標として、2011年2月には、2020年時点で達成をすべき中期目標が打ち出された。

政策推進のための政府組織も再編された。2011

年にそれまでの「気候・エネルギー省」は建築物部門を加え、「気候・エネルギー・建築物省」となり、現在に至っている。



図3 環境・エネルギー・建築物省のロゴマーク

デンマーク政府のエネルギー供給に関する中期目標 (2011年2月発表 気候・エネルギー省)¹⁾

2020年までに以下の目標達成を目指す

- 最終エネルギーの35%を再生可能エネルギー起源とする
- 電力供給量の50%を風力発電起源とする
- エネルギー消費量の総量を2010年比で7.6%削減する
- 1990年比でCO₂排出量を34%削減する

(注) ごみ焼却熱、ごみ発電は、再生可能エネルギーとして扱われる。2020年時点でのごみ発電起源の電力供給量の目標は20%としている。

3. 热供給事業の事業主体と構成

热供給に関する事業主体は、Generators（生産事業者）、Transmission Company（搬送会社）、Distribution Company（配給会社）の3層で構

成されている。この構成は同じ時期に調査した他の北欧諸国（スウェーデン、ノルウェー）とは異なっている。

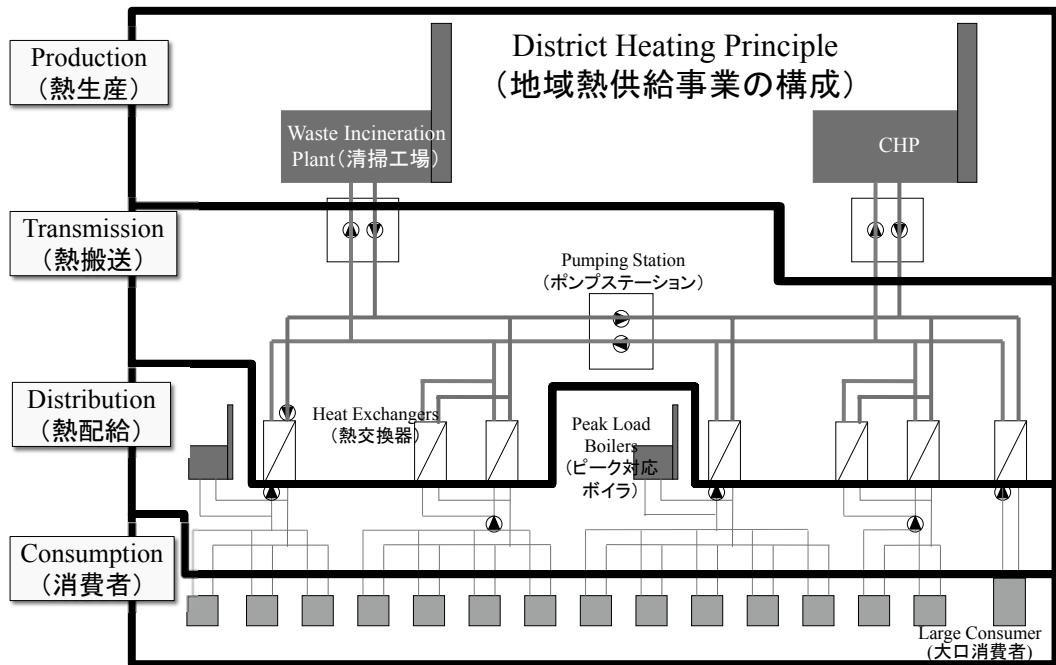


図4 デンマークにおける広域熱供給事業の階層構造

4. 热供給事業の実施地域の指定と需要家の接続義務との関係

デンマークでは熱供給事業は当該地区ごとに独立採算であること、すなわち需要家の熱料金で成立する事業であることが求められる。したがって、熱供給ネットワークに対する需要家の接続と継続的な利用を確保することが、投資資金を得て安定的な事業運営を行う上での必須要件となる。これを後押しするのが2000年の熱供給法の改定（Secondary Act）である。自治体は地域熱供給を行うエリアを指定し、指定エリア内に立地する建物に対し地域熱供給への接続義務を課すことができるとした。

接続に至る期限についても定めている。その程度は、新築／既存の別、需要の規模により要件が異なる。

- 新築される建物には、当初からの接続を義務づけ
- 既存建物のうち、250kW以上の需要家は、1年以内の接続義務づけ
- 既存建物のうち、250kW未満の需要家は、9

年以内の接続を義務づけ

– 例外規定…太陽熱や地熱を自己調達し貯うケースや、遠隔の戸建住宅等で熱供給導管からの引込みコストが嵩み不経済となるケースでは、接続義務は免除される。

上に示した例外事項とあわせて、同改定法は地域熱供給エリアに指定されたエリア内での以下の熱生産施設の設置について自治体の許可が必要とされ自由に設置できないことも規定している。これも事業の安定化に貢献する。

- 出力が250kW以上の熱源プラント
- 25MW以上の発電を行うCHPプラント
- 燃料焚きの専焼ボイラ

5. 热供給事業のエリア指定に至る手続き

地域熱供給事業を行うためのエリア指定については、都市計画的な手続きを通じて当該エリアのステークホルダーの合意形成を図っている。以下に手続きの概要を記す。

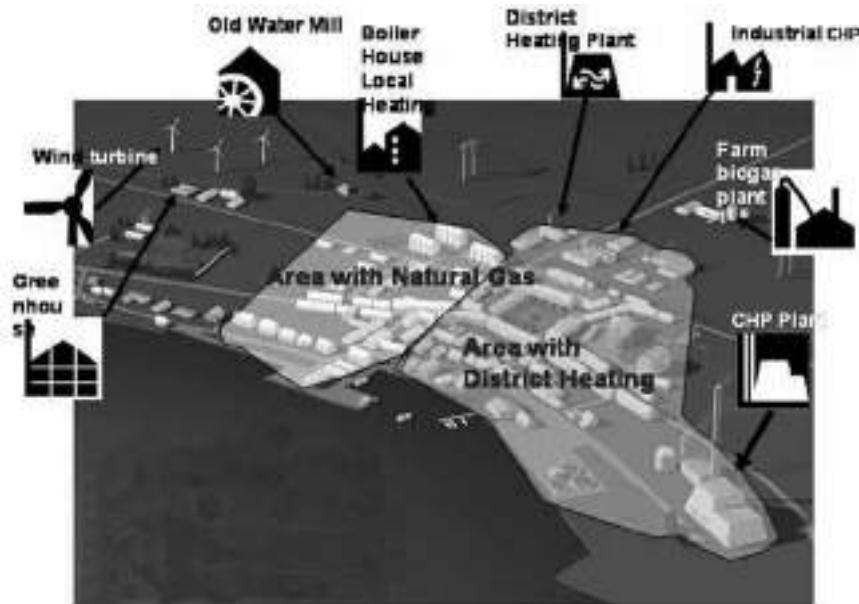


図5 地域熱供給エリアの指定イメージ²⁾

①事業者は、地域熱供給プロジェクトに関するプロポーザル（事業計画の提案書）を当該自治体に示す。そこには建設投資・事業スケジュールとともに、国、事業者、需要家それぞれにとりコスト効率が高いこと、環境負荷が少なく化石燃料依存の軽減にも資すること、ならびに利用者は低コストで良好なサービスを受けられることが示される必要がある。

②プロポーザルを受けた自治体では、約1か月間の間に主要なステークホルダーへのヒアリングを実施し事業可否を判断したうえで、4週間のパブリックコメントを実施する。

③最終的には、自治体から独立したEnergy Board of Approvalが事業実施を承認し、エリア指定が最終的に決定される。この決定は裁判以外の手段で覆ることはない

なお、自治体による熱供給エリアの指定については、デンマーク財務省が発行している公共インフラの社会経済性評価の分析ガイドライン（図6左）や、これをエネルギー分野についてさらに詳細化したガイドライン（図6右）に基づいて社会経済的な事業としての成立可否が判断されているとのことであった。



デンマーク財務省刊
公共インフラ全般のガイドライン



デンマークエネルギー庁（当時）刊
エネルギー・システム評価用

図6 地域熱供給エリアの指定の判断で用いられる政府のガイドライン³⁾

地域熱供給のエリア指定が承認されても、実際の事業開始時点で85%程度の接続同意が得られていないと採算が合わないとされ、事業者は営業活動を展開する。

こうしたプロセスを経て成立した事業には高い格付けがなされ、デンマーク政府から自治体向けの低利融資が受けられる。また、自治体からの債務保証、消費者も債務返済に責任を負う、といった資金

調達・事業運営の面で有利な仕組みが適用される。

一例として、筆者らが訪問時に情報提供を受けた、地域熱供給事業者Vestforbraending社によるLyngbyという地区に対するプロポーザルを図7に示す。同社には19の自治体と政治家で構成される役員会があり、そこで資金計画の承認を受けることにより、自治体の債務保証付きで3～4%での借入が可能となるとのことであった。

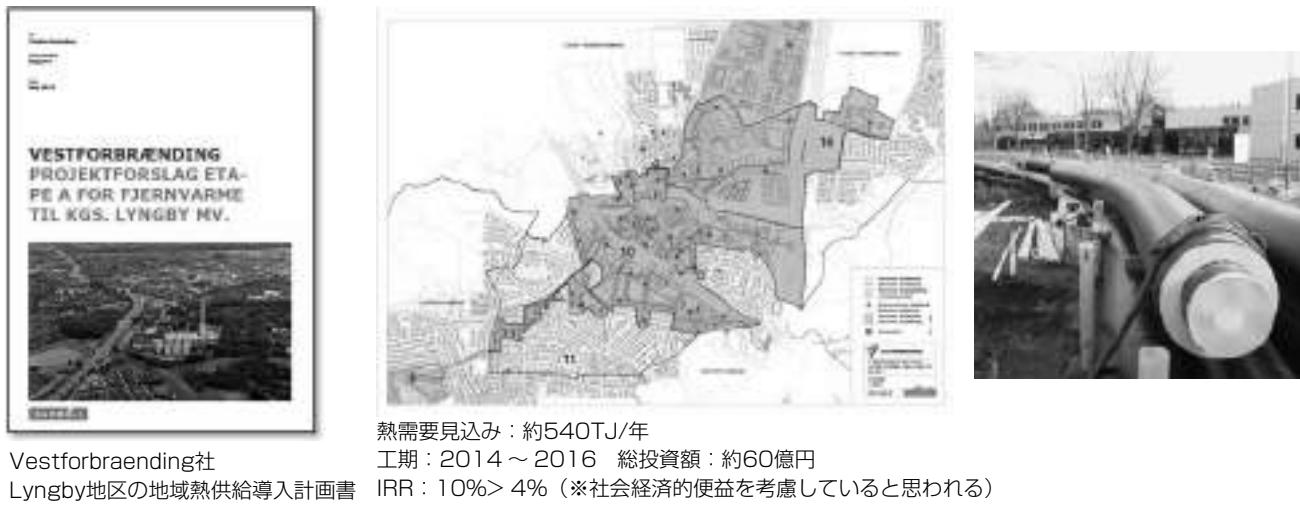


図7 地域熱供給エリア指定を受けるための事業計画書の例（Lyngby地区）³⁾

6. 料金の透明性の確保と省エネ行動を促す料金体系

熱供給料金は地域によらず等しくあるべきとの理念はありつつも、地域により料金が異なるのはやむを得ないと考えられている。また料金算定において、唯一絶対の方式は存在せず、様々な要件に配慮することが必要とのことであった。

原則として熱料金は事業者の支出した費用の実費ベースで決められ、事業で利益が出た場合はすべて当該エリアの需要家に還元することが求められる。事業者の支出は以下の7種類に分類される。

- ①燃料費、②導管網建設費、③運転費、④建物への引込みのための投資（利子、更新費を含む）、⑤減価償却費、⑥事務経費、⑦保険と税金

事業者はこれらの支出額について毎年、政府の監督機関（Danish Energy Regulatory Agency）に書類を提出する必要がある。なお、この機関は環境・エネルギー・建築物省とは独立して存在する。

需要家が支払う料金の構成（Tariff Regulation）として、①基本料金、②従量料金に加え、③非効率な使用に対する超過料金がある。③に関し診断と改

善を行うサービスがある。③については、逆に料金が還付されるケースもあり、需要家の省エネ行動に対するインセンティブとなっている。

7. おわりに

本稿では、欧州のスマートエネルギーネットワークの形成動向を把握することを目的として行った北欧地域の先進的な取組みに関する訪問調査のうち、デンマークの広域熱供給事業の発展の背景にあるエネルギー政策と事業成立に至る計画プロセスについて述べた。

中央政府は中長期のエネルギー目標を打出すとともに、地域熱供給事業がもたらす「社会的便益」も考慮したインフラの費用対便益を評価するガイドラインを制定している。これにしたがって自治体は熱供給の実施が有効なエリアを指定し、需要家もこれを理解して熱供給を受け入れている状況が理解できた。

従って需要家の接続義務という考え方は、

①上記のガイドラインに基づき社会経済的に熱供

給事業が個別熱源に比して有効であるエリアを客観的な手法で抽出可能であることを前提としていること
②パブリックコメント等の法手続を課すことで当該エリアの需要家（居住者や企業）自らが地域熱供給エリアになるべきか否かを選択可能としていること

③供給事業の所有者は消費者（需要家）であるケースが大宗であり熱供給事業者が利益を上げた場合は需要家に対し料金で還元することが求められることに加え、政府機関が料金をチェックする仕組みが組み込まれていること

等により成り立っているものと推測される。これらの仕組みにより、接続の可否をめぐる問題は生じにくいと考えられる。

今回の訪問調査を通じ、中央政府が定めるガイドラインや、実際のプロジェクトの計画例を入手することができた。推進政策・制度面の理解をより深めることができると考えられる。

謝 辞

本稿は、2013年度に（一社）都市環境エネルギー協会が主催した「欧州のエネルギー自立型・低炭素都市づくりを支えるスマートエネルギーネットワーク先進事例調査（2013.11.10～11.16）」の訪問調査によって得られた知見に基づいています。調査団参加者各位ならびにコーディネーターを務めて頂いたデンマークRamball社のAnders Dyrelund氏はじめ訪問先のデンマーク気候・エネルギー・建築物省上席政策アドバイザーのAnders Hasselagar氏に深く感謝します。

調査団メンバー

団長

佐土原 聰（横浜国立大学大学院 教授）

団員（アイウエオ順）

岡垣 晃（株）日建設計総合研究所

岡本 利之（大阪ガス株）

鎌田 秀一（国土交通省都市局）

工月 良太（東京ガス株）

嶋村 和行（大成建設株）

長澤 秀行（新菱冷熱工業株）

那須原和良（清水建設株）

西崎 太真（三菱重工株）

蓮輪 賢治（株）大林組

長谷川俊雄（鹿島建設株）

松下 昌弘（株）竹中工務店

村関不三夫（東京ガス株）

事務局

中村 英一（都市環境エネルギー協会）

参 考 文 献

- 1) The Danish Government: Summary Energy Strategy 2050, 2011.2
- 2) Anders Hasselagar: Danish energy policy -the role of district heating and energy efficiency, 2013.11.11 (訪問時講演資料)
- 3) Anders Dyrelund: District heating projects Copenhagen, 2013.11.11 (訪問時講演資料)

以上

新技術・新商品紹介

コンテナ型ガス発電ユニット “MEGANINJA” シリーズ

三菱重工業株式会社 田中 政之

1. はじめに

近年、アジア、アフリカなどの新興国の多くでは、急速な経済成長に送電網の整備が追いつかず、また消費市場が急拡大する中国や、グローバル企業が進出するタイやインドネシアなどでは、安定した電力の確保が急務となっている。一方、先進国においては、エネルギー効率が良く災害にも強い分散型発電の普及と、これを前提とするスマートコミュニティ構想に基づく低炭素で高効率な次世代型エネルギーインフラへのシフトを目指している。

一次エネルギーに目を向けると、原油価格の高騰、アルジェリア、ナイジェリアなどでの莫大な天然ガス埋蔵量の確認、また米国でのシェールガス採掘により天然ガスの一層の普及が予想される。しかも天然ガスは化石燃料の中で、燃焼時のCO₂排出量が少ないクリーンエネルギーとして、地球環境という観点からも期待されている。

こうした中で注目を集めているのが天然ガスを燃料とした分散型電源設備である。小規模な発電設備を消費地ごとに配置して電力を貢うことで長大な送電網が不要になるため、短期間かつ低成本で設置できるうえ、送電によるエネルギーロスもなく、大規模電源の集中リスクを分散させ、いわゆるBCP対応の効果も發揮される。

この様な市場状況より当社はコンテナ型ガスエンジン発電設備「MEGANINJA（メガニンジャ）」を開発し、2012年6月より市場投入した。

2. MEGANINJAの特徴

MEGANINJAの製品コンセプトは“素早く移動・素早く設置・素早く発電・素早くメンテナンス”であり、現地到着後24時間以内に発電を開始できる

ことが特徴である。素早く動作する“忍者”から、Mitsubishi Energy Gas Package NINJA Series、「MEGANINJA」と命名した。

MEGANINJAはトレーラで輸送可能なISO規格の40フィートコンテナ内にガスエンジン、発電機、冷却装置、潤滑油装置、制御盤など発電に必要な装置を搭載した発電ユニット（図1）と、20フィートコンテナ内に排ガスボイラ（蒸気もしくは温水）、熱交換器、消音器を搭載した排熱回収ユニット（図2）がある。これらを組合せると電力だけでなく、熱源も供給できる分散型コージェネレーションユニットとして幅広いニーズに対応可能である。

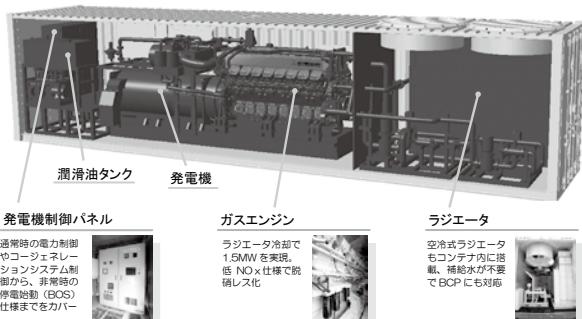


図1 発電ユニット

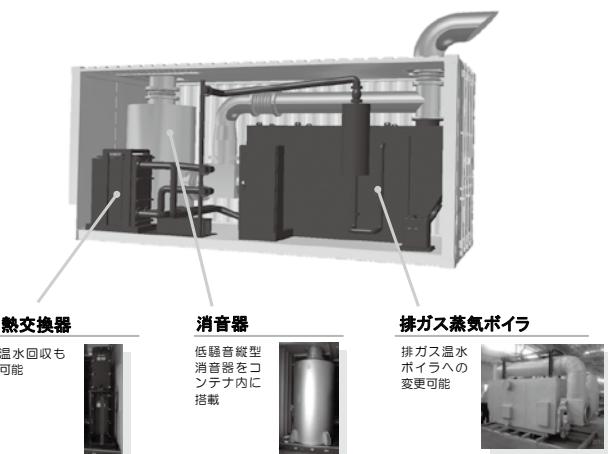


図2 排熱回収ユニット

搭載しているエンジンは当社のGS16R2ガスエンジン1500kW (50Hz) /1200kW (60Hz)で、自社製ターボチャージャーを採用し、燃焼最適化を行った空冷ラジエータ式エンジンである。また、工期短縮を実現するため配線ケーブルにワンタッチコネクタを使用、配管系統も接続しやすく、設置した時に40フィートコンテナと20フィートコンテナが水平に整列するよう内部のレイアウトを工夫している。(図3)

また、本製品を複数台設置することにより、1MW～数十MWまでのコージェネレーションセンターを構築することが可能であり、機動性を生かし必要な容量を必要な時に必要な場所で利用するといった使用も可能である。(図4)

3. 導入事例

2013年7月に滋賀県栗東市にある当社の工作機械事業部本工場へ1200kW 3.3kV 1台を納入した。同工場では2011年の東日本大震災以降、関西地区に於いても節電やピーク時間帯の電力使用量低減要請が実施されており、これまでと同様な工

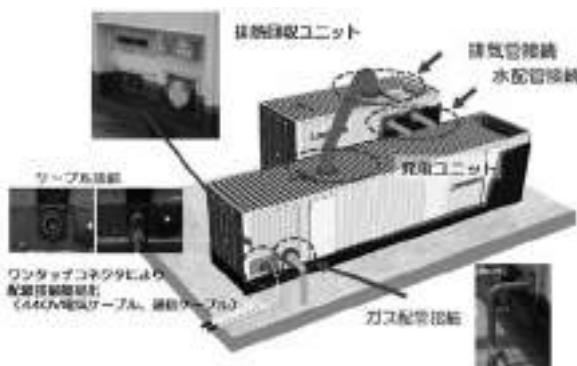


図3 置くだけ工法



図4 7.5MW (1500kW×5台) コジェネプラント例

場内の省エネだけで節電要請に対応するのは困難であると判断し、夏場のピークカットやBCP対応電源設備としてMEGANINJAの導入を図った。(図5)

現地基礎工事上に設置された専用ベースプレートにより設置工事はわずか1日。設置後の配線・配管の繋ぎ込みは1週間で完了し、MEGANINJAの製品コンセプトを遺憾なく発揮した。



図5 MEGANINJA導入事例

4. おわりに

政府は、2014年4月11日に新たなエネルギー基本計画を閣議決定し発表した。同計画の中で、コージェネレーションは省エネルギー性に加え、電力需給ピークの緩和、電源構成の多様化・分散化、災害に関する強靭性を有するものと位置づけられ、今後の普及拡大が期待されている。また、2020年には東京オリンピック・パラリンピックも開催され、各競技場や選手村などにも一時的な電力需要が見込まれており、今回紹介したMEGANINJAの“素早く移動、素早く設置、素早く発電”の特徴を最大限に活用できると考えている。

今後も当社は、様々なレンジのエネルギー供給設備を提供できる総合メーカーとして、日本のみならずグローバルに社会貢献できる技術を提供していくたい。

お問合せ先

三菱重工業株式会社
機械・設備システム部門
エンジン事業部営業部ソリューション営業課
安藤 恵一
〒108-8215 東京都港区港南二丁目16番5号
TEL : 03-6716-4696 FAX : 03-6716-5854
Email : keiichi_andou@mhi.co.jp
URL : <http://www.mhi.co.jp/>

30MW級 高効率ガスタービン「L30A」

川崎重工業株式会社 怡土 英毅

1. はじめに

人々の節電意識が高まる中、安定な電力供給を図るために分散型発電需要も高まり、ランニングコスト低減などの経済性側面から高効率発電がクローズアップされている。さらに、地球温暖化抑制やCO₂排出量削減の観点から、環境負荷の少ない再生可能なエネルギーや省エネルギー分野への期待が一層高まっている。そのため、最近では高効率で環境に優しい産業用ガスタービンを利用した複合発電プラント(CHP/CCPP)が省エネルギー分野で最も注目を浴びている。

当社では、こういった社会のニーズに応えた高性能でエコフレンドリーな産業用ガスタービンとして、新たに30MW級高効率ガスタービンL30Aを開発した。

2. 概要

発電端出力が5～35MWクラスの当社産業用ガスタービン性能を図1に示す。発電市場で需要が著

しい20～35MWクラスにおいて世界最高となる効率40%以上を目指の1つとして、さらに石油・ガス市場や機械駆動用も視野に入れて、2007年度に2軸型のL30Aの開発を開始した。

L30Aの主要諸元を表1に、外観を図2に示す。

表1 L30A主要諸元

型式	単純開放 2軸型
出力(MW)	30.9
熱効率(%)	41.3
圧縮機	軸流14段
燃焼器	8缶型
ガスジェネレータービン	軸流2段
パワータービン	軸流3段
ガスジェネレータ回転数(min ⁻¹)	9,330
パワータービン回転数(min ⁻¹)	5,600
空気流量(kg/s)	86.5
圧力比	24.5
排気温度(℃)	470

*ISO条件(パワータービン軸端換算、燃料:天然ガス)

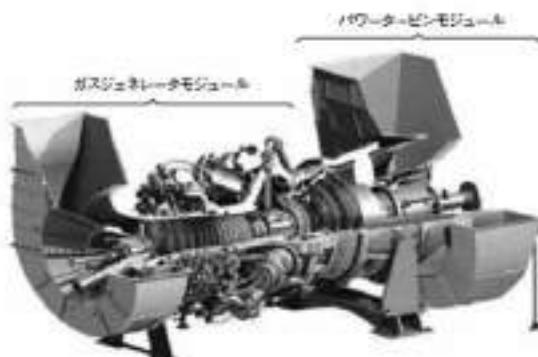


図2 L30Aガスタービン

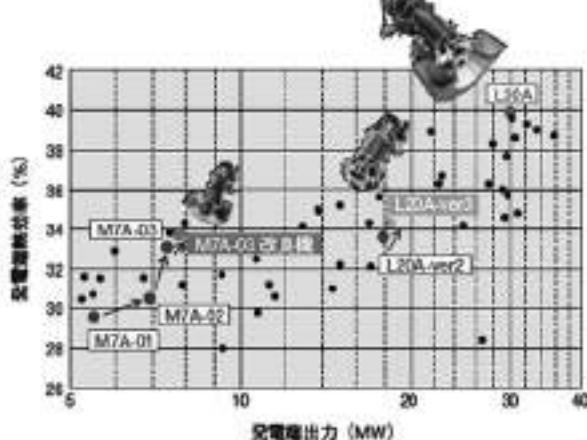


図1 5～35MWクラスの産業用ガスタービンの性能トレンド

3. 特長

(1) 30MWクラスで世界最高効率

L30Aは同クラスで世界最高効率を達成するためには、圧縮機の高圧力比、各要素効率の向上、および最先端のタービン冷却技術を活用した。従来機の圧縮機の圧力比は18程度であったが、L30Aはこれ

を飛躍的に超える圧力比24.5を達成した。また、圧縮機では最適化翼形状生成ツールを導入するとともに、全段のCFD (Computational Fluid Dynamics) 解析から段間マッチング調整をおこなった。タービンには当社の特許技術であるフィルム冷却と流体・伝熱連成解析を適用し、タービン翼周りの詳細な温度分布を把握することで設計精度を高めている。

(2) 低エミッション

エンジンの高効率化によるCO₂排出削減に加えて、M7AやL20Aで実績のある環境に配慮した低NO_x乾式燃焼器設計思想（第3世代）を採用した。燃料ノズルには予混合型を採用し、3種類のバーナーを用いて広範囲のDLE (Dry Low Emission) 運転を可能としている。

(3) メンテナンスの容易性

各ケーシングを分解することなく全ての流路面を検査できるよう、適切な位置点検口が設けられている。また、ガスジェネレータモジュールの高温部は従来機と同様に多缶型燃焼器と水平分割構造とし、定期交換時のメンテナンス期間の短縮を図っている。さらに、オーバーホール時に交換作業を簡単におこなうことができるよう、モジュール化構造設計を導入している。

4. L30Aを用いた複合発電

適用例として、コーポレーションシステムにL30Aを導入した際のプラント性能を算出した。表2に示すように、電力28MWと飽和蒸気46t/hが発生でき、総合熱効率は83.1%に到達することが分かる。

表2 L30Aコーポレーション発電設備仕様

発電量 (MW)	28.4
蒸気量 (t/h)	46.2 飽和蒸気 (圧力: 0.83MPaG, 温度: 177°C)
熱効率 (%) : 低位発熱量換算	39.8
総合熱効率 (%) : 低位発熱量換算	83.1
吸気温度 (°C)	15
吸気／排気圧力 (kPa)	0.06/3.43
燃料	天然ガス (低位発熱量: 40.6MJ/Nm ³)

今日では、関西の某化学工場にてこの複合発電プラントの初号機商用運転が決定し、2012年10月からサイトでの実証運転を開始している。

5. あとがき

L30Aは30MWクラスで世界最高効率を誇るガスタービンとして発電用途の開発が完了した。また、商用運転も開始され、CO₂削減や省エネルギーに貢献している。

今後は、石油・ガス市場を見据えた機械駆動用としても開発を進め、高性能で環境保全に貢献するL30Aのますますの拡販に注力していく。

参考文献

池口、松岡、田中、奥戸、寺内、酒井、仮屋、笠、武：“30MW級 高効率ガスタービン「L30A」”、川崎重工技報、No.173、pp.22-25 (2013)

新技術・新商品紹介

大規模ビルにおける メタン発酵式バイオガスシステム

株式会社竹中工務店 大阪本店 設計部 企画グループ長 坂口 佳史

1. はじめに

持続可能な社会を構築するためには、供給と需要全体に渡る包括的システムの最適化が重要であり、デマンドサイドも、都市インフラの負荷低減を目指すことが大切である。

本件は、生ごみをバイオガス化することで都市の負荷を低減する、先進的且つ普及性の高い環境技術を探求している。バイオマスをコーチェネレーションと組み合わせたオンサイトシステムである。

2. 大規模ビルにおける生ごみの課題

業務施設は多種多様な廃棄物が発生する。大規模であれば、広い集積所と処理工エネルギーが大きくなる。生ごみは含水率が高く重いため、場内外での搬送エネルギーも大きくなる。また、生ごみは収集袋の破損等により臭気を伴うことが心理的にも負担となっている。

生ごみをリサイクルする方法としては、飼料化、堆肥化、エネルギー利用などが考えられる。

飼料・堆肥化の場合、冷蔵や輸送にエネルギーがかかり過ぎ、経済性から小規模事例は、都市部では見当たらない。場内でディスポーザを使用する場合は、固形分率が高く、粘性があるため、課題が生じる。

また、エネルギーを活用する方法としては、メタン発酵によりメタンを回収して発電する手法が考えられるが、上記のとおり、発酵残渣を農場等で活用することは難しく、別途処理する必要がある。

3. メタン発酵式バイオガスシステム

業務施設に、小規模なメタン発酵システムを設置することは、様々な理由から実施されていない。よって普及性の高いシステムは、少ない。

また、業務施設に多く設置されている厨房除害設備、中水処理設備では、汚泥が生じるため、外部搬出して処理する必要があるが、この処理費も年々、上昇傾向にある。

業務施設で生じる生ごみと排水処理汚泥をメタン発酵することは、下水処理場では実施されている技術であるため、厨房除害設備、中水処理設備から発生する汚泥をメタン発酵で処理することは技術的に可能であると考えた。

更に、厨房排水から固形分を生物処理前に回収すれば、これも発酵に活用でき、厨房除害設備への負担を軽減することが可能となる。負荷が減少することで、メタン発酵後の残渣処理を厨房除害設備で行なうことも可能となる。

このように固形分処理と排水処理を相互に補完してシステム化することで経済性を向上した。(図1)

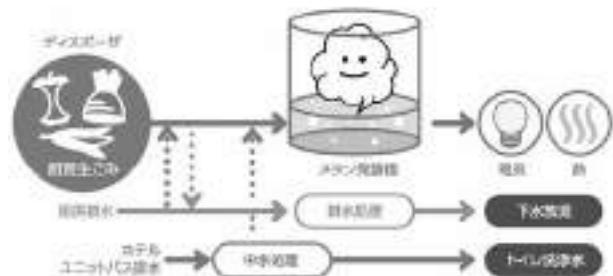


図1 バイオガス概念図

破碎した生ごみがスムーズに搬送されるためには、配管内圧力などの状態把握や中継システムの開発も必要となる。ここでは、小容量のタンクで中継し、ポンプで再度圧送することができるよう開発した。これにより途中階での自由な横引きが可能となり、配管ルート選定の自由度を高めることができる。

4. 導入事例

超高層ビル『あべのハルカス』（大阪市阿倍野区、2014年春開業）に導入されたバイオガスシステムについて記述する。

システムは生ごみの計量が可能なディスポーザ投入装置、途中階での自由な横引きを可能としたディスポーザ排水搬送システム、メタン発酵システム、バイオガス利用の4段階から構成される。図2に構成を示す。

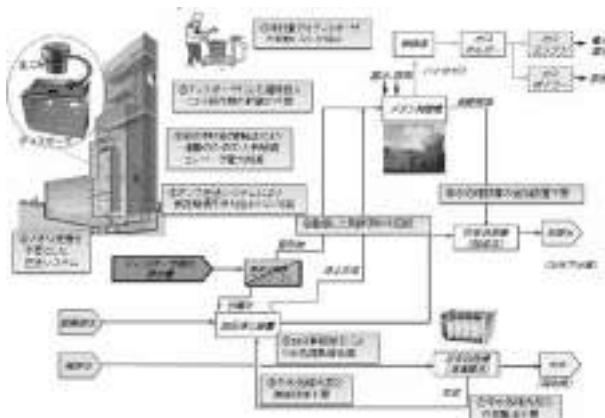


図2 システム構成

計量ディスポーザ投入装置

計量機とディスポーザ投入装置の蓋開閉システムを連動させることにより、計量することで蓋が開き、生ごみが投入できるようにし、未計量投入を防ぎ、確実な計量を行い、排出傾向を把握する。

ディスポーザ排水搬送システム

ディスポーザで生ごみを流す場合、流動性を持たせる必要があるため、破碎した生ごみに水を加えて流す必要がある。横引きが長い場合、ディスポーザ排水配管の途中に中継タンクを設け、容積型の圧送ポンプを接続する。途中階での横引きを大きな水槽を配置することなく可能とし、配管の詰まる可能性を排除した形で長距離横引きが可能である。

メタン発酵システム

破碎された生ごみは、地階に集められる。ディスポーザ排液は、スクリーンを経由して固液分離され、径の大きな固体分と径の小さな固体分を含んだ液分とに分離される。

固体はメタン発酵槽（写真1）へ投入される。径の小さな固体分を含んだ液分は、厨房排水及び中水余剰汚泥とともに加圧浮上装置にて、固液分離さ

れ、浮上スラムとしてメタン発酵槽に導かれる。

メタン発酵後の残渣は厨房除害設備の生物処理槽に導かれ、加圧浮上によりSS及びBOD分を除去した排水とともに下水道に放流可能なレベルまで処理され放流される。

バイオガス利用

消化ガスボイラと950kWの発電が可能な混燃ガスエンジン発電機（コーチェネレーション）を設置した。負荷に応じて選択して運転可能とした。



写真1 メタン発酵槽

本システムにより、以下の効果が見込める。

- ・生ごみのエレベータによる運搬、建物内での貯留が不要で、衛生的である。
- ・場外搬出物を削減できる。
- ・生ごみや中水処理などの汚泥を処理し、バイオガス（メタン濃度約60%）を回収可能
- ・食品リサイクル法における再生利用に該当する

5. おわりに

（株）神鋼環境ソリューション様、その他多くの方々に支えられ、ここまで参ることが出来、関係頂きました皆様に心から感謝いたします。

今後も総合的観点から環境配慮を推進することで、社会に貢献したいと考えております。

お問い合わせ先

株式会社竹中工務店 環境エンジニアリング本部
加藤 利崇
〒136-0075 江東区新砂1丁目1-1
TEL : 03-6810-5686 FAX : 03-6660-6169
E-mail : katou.toshitaka@takenaka.co.jp
URL : <http://www.takenaka.co.jp/>

協会ニュース

第46回通常理事会・第22回通常総会開催

総務部

平成26年5月9日（金）、東京都文京区の「東京ガーデンパレス」において、第46回通常理事会が開催されました。H25年度事業報告案、同決算案、会員の入退会、及び総会の招集決議案が審議・承認されました。

また、平成26年5月27日（火）に同じく「東京ガーデンパレス」において第22回通常総会を開催し、3月26日（火）に開催した第45回理事会の提示済議案および、H25年度事業報告、H25年度決算、役員選任等総会承認議案も含め、すべての議案が全会一致で承認されました。

総会終了後に別室で臨時理事会を開催し、理事長、副理事長、専務理事を選任しました。最後に懇親会を開催し、来賓の皆様や多数の会員のご参加をいただき、相互の親睦を深めながら、盛況のうちに閉会しました。



第46回通常理事会



第22回通常総会



臨時理事会



懇親会

〈第1種正会員〉

(平成26年7月1日現在)
〈計45社〉

アクアス株式会社	西部ガス株式会社	東京ガス株式会社
アズビル株式会社	三機工業株式会社	東西化学産業株式会社
荏原冷熱システム株式会社	三葉化工株式会社	株式会社東芝
株式会社エネルギー・アドバンス	JFEエンジニアリング株式会社	東邦ガス株式会社
大阪ガス株式会社	清水建設株式会社	東洋熱工業株式会社
株式会社大林組	株式会社神鋼環境ソリューション	株式会社日建設計
鹿島建設株式会社	新日本空調株式会社	日本海ガス株式会社
片山ナルコ株式会社	新日鉄住金エンジニアリング株式会社	日本環境技研株式会社
川崎重工業株式会社	新菱冷熱工業株式会社	株式会社日本設計
川重冷熱工業株式会社	株式会社大気社	株式会社日立製作所
関西電力株式会社	大成建設株式会社	株式会社ヒラカワ
株式会社関電工	ダイダン株式会社	三浦工業株式会社
株式会社きんでん	株式会社高尾鉄工所	三井金属エンジニアリング株式会社
栗田工業株式会社	高砂熱学工業株式会社	株式会社三菱地所設計
京葉ガス株式会社	株式会社竹中工務店	三菱重工業株式会社

〈賛助会員〉

〈計23社〉

株式会社IHI	中部電力株式会社	特許機器株式会社
株式会社エックス都市研究所	筑波都市整備株式会社	日本ビー・エー・シー株式会社
株式会社大岩マシナリー	ディー・エイチ・シー・サービ	日本電技株式会社
株式会社大阪テクノクラート	ス株式会社	日立アプライアンス株式会社
玖長鋼業株式会社	電源開発株式会社	丸の内熱供給株式会社
四国電力株式会社	東京下水道エネルギー株式会社	みなとみらい二十一熱供給株式会社
新宿南エネルギー・サービス株式会社	東京都市サービス株式会社	横河ソリューションサービス株式会社
ダイヤアクリソリューションズ株式会社	戸田建設株式会社	株式会社横浜都市みらい

〈特別会員〉

〈計33団体〉

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	一般財団法人都市みらい推進機構	一般社団法人日本機械学会
一般財団法人コーディネレーション・エネルギー高度利用センター	公益社団法人工木学会	一般社団法人日本建築学会
	公益社団法人空気調和・衛生工学会	一般財団法人日本建築センター
	一般財団法人建築環境・省エネルギー機構	一般社団法人電気学会
神奈川県	江東区	調布市
青森市	さいたま市	千代田区
安城市	堺市	豊島区
板橋区	相模原市	富士市
柏市	札幌市	中野区
春日部市	薩摩川内市	名古屋市
川崎市	下川町(北海道)	横浜市
岐阜市	仙台市	



その情熱で、先端へ

壁のある道こそ、向かうべき道だ。

不可能を信じない。挑戦をやめない。

壁を乗り越えた先に、美しい世界が広がっているはずだから。

その情熱で、先端へ

困難な地球規模の問題をエンジニアリングで解決するために、

私たちはさらなる高みを目指していく。

広告に関するお問合せ／経営企画部広報室
〒141-8604 東京都品川区大崎一丁目5番1号 大崎センタービル
www.eng.nssmc.com TEL.03-6665-2366

新日鉄住金エンジニアリング株式会社



深呼吸したくなる都市へ。

葉一面に網の目のように敷き詰められた葉脈。

根から吸い上げられた水分や養分を

葉の隅々に行き渡らせるために作られた自然のインフラです。

運ばれた水分は光合成によって分解され、二酸化炭素を利用して有機物と酸素を生みだします。

こんな理想的なシステムが1枚1枚の葉の中で行われています。

私たち東京ガスは、未来の都市をこの1枚の葉のように美しく快適に変えていきたいと考えています。

葉脈のように都市一面に敷き詰められた導管を通して、

各ご家庭はもちろん、ホテル、病院、ショッピングセンターなどの施設に供給される都市ガス。

都市ガスの原料となる天然ガスは、

石油や石炭よりも二酸化炭素の排出が少ないクリーンエネルギー。

暮らす人が思わず深呼吸したくなる都市へ。

私たちは天然ガスで実現します。



東京ガス株式会社

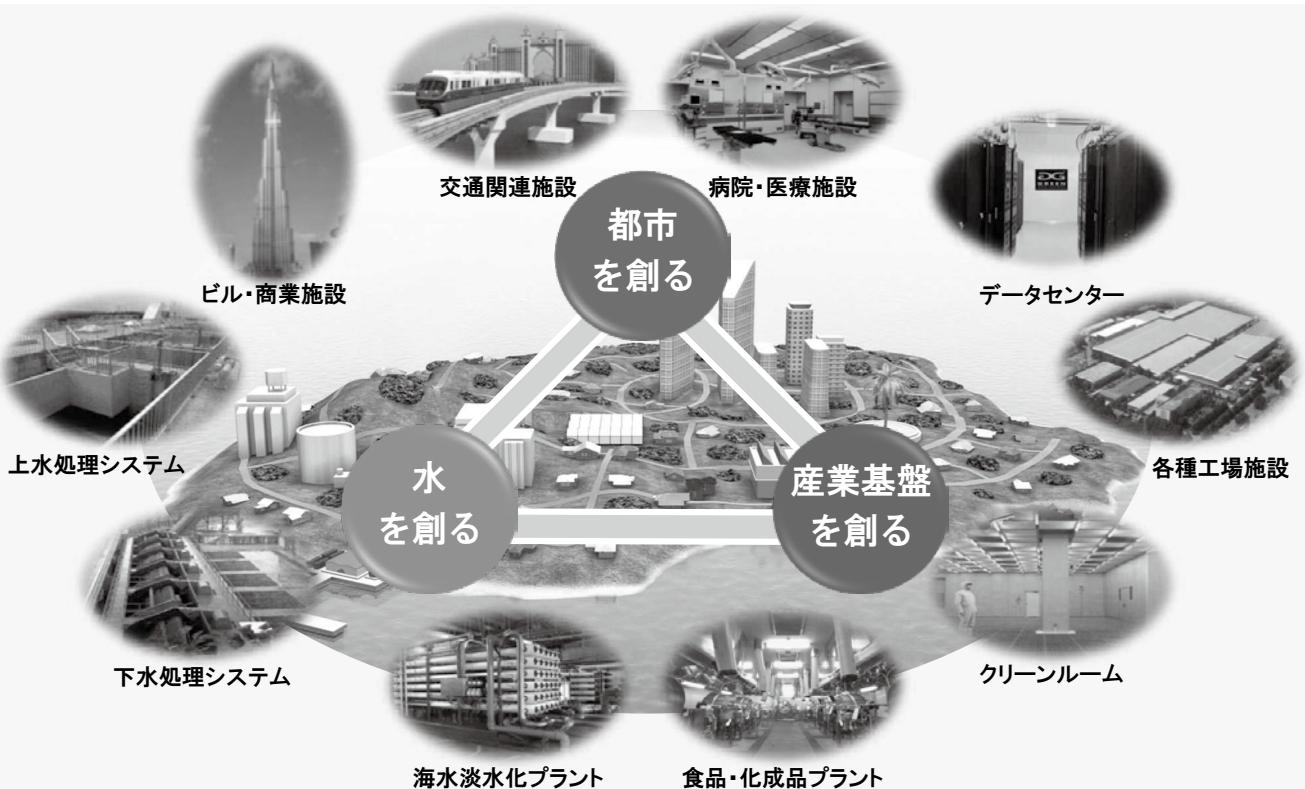
都市エネルギー事業部 東京都港区海岸1-5-20

TEL.03-5400-7801(ダイヤルイン)

<http://eee.tokyo-gas.co.jp>

環境＆省エネ技術で未来を創る

HITACHI
Inspire the Next



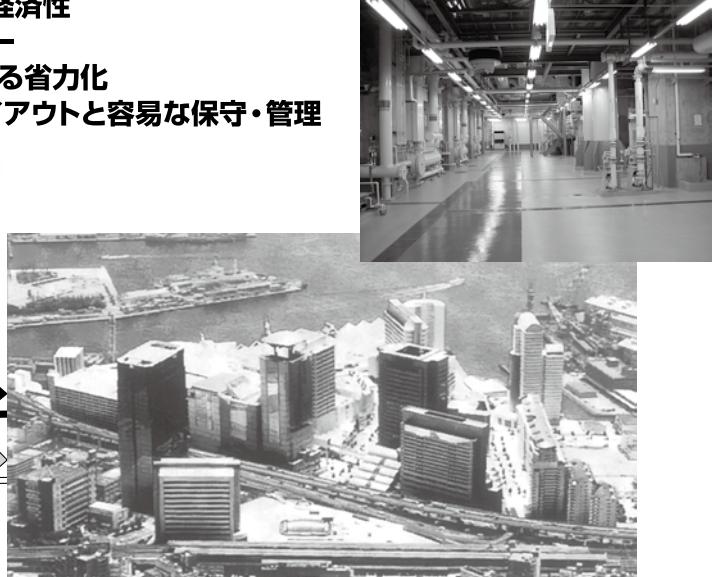
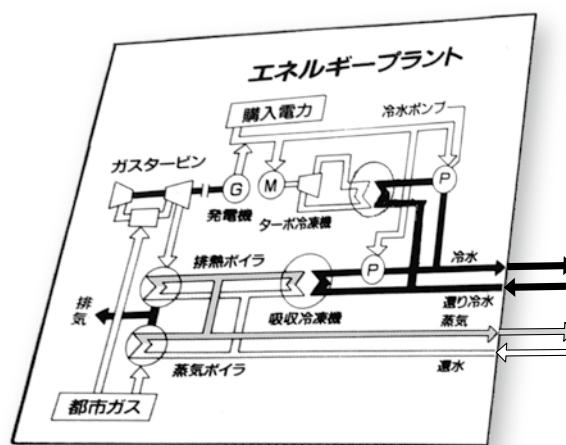
© 株式会社 日立製作所 インフラシステムズ

〒170-8466 東京都豊島区東池袋4-5-2(ライズアリーナビル) www.hitachi.co.jp

Kawasaki

地域環境に貢献する 川崎重工の地域冷暖房プラント

- トータルエンジニアリングによる高い安全性と経済性
- 高精度シミュレーション技術による省エネルギー
- プラント制御技術（台数制御・予測制御等）による省力化
- 3次元配管CADシステムによるスマートなレイアウトと容易な保守・管理



 川崎重工
www.khi.co.jp

東京本社
東京都港区海岸一丁目14番5号 (03) 3435-2533

想像を、チカラに。



人が想像できることは、必ず人が実現できる。鹿島の都市づくりは、100年先を見つめています。

100年をつくる会社
in 鹿島

www.tte-net.co.jp

人・空気・未来
高砂熱学工業

熱と空気の省エネルギー技術でCO₂削減に貢献します。





nikken.jp

日建設計

more than creative

代表取締役社長 岡本慶一

東京 102-8117 東京都千代田区飯田橋2-18-3 Tel.03-5226-3030

大阪 541-8528 大阪市中央区高麗橋4-6-2 Tel.06-6203-2361

名古屋 460-0008 名古屋市中区栄4-15-32 Tel.052-261-6131

九州 810-0001 福岡市中央区天神1-12-14 Tel.092-751-6533

支社・支所 北海道、東北、神奈川、静岡、長野、北陸、京滋、神戸、中国、熊本、沖縄
北京、上海、大連、ドバイ、ハノイ、ホーチミン、ソウル、モスクワ、シンガポール

<http://www.nikken.jp>

コラム

本年度より政策委員長を拝命しました湯澤でございます。日建設計に入社以来約20年間に亘り、研究施設、プラント施設、スポーツ施設、オフィス等の様々な建物用途の設備設計を経験する中で、顧客ニーズを踏まえて個別分散空調方式、中央熱源方式、地域熱供給システム等の熱源システムを提案してまいりました。現在は、日建設計グループのシンクタンクである日建設計総合研究所にて、「技術は、人のため、社会のために活用するものである」をモットーに、国内及び海外の建物レベルから都市レベルをフィールドとしてエネルギー性能に関連するコンサルティングに従事しております。最近のホットなテーマは、エネルギーの効率的な利用の観点からまちづくりの在り方に関する研究、建物のエネルギー消費構造に関する調査分析、建物のライフサイクルに亘ったエネルギー・マネジメント業務です。

我が国では、東日本大震災以降、エネルギーの需要と供給の在り方に関する社会的な関心が高まる中、本年4月にエネルギー基本計画が閣議決定されました。国のエネルギー政策は、安定性、安全性、経済発展等を考慮して、より効果的かつ具体的な取組として顕在化されるものと期待しております。政策委員会でも、豊富なスキルと様々な視点を有する委員がまちづくりの観点から都市の環境・エネルギー施策の在り方についてディスカッションを行い、提言を通じて貢献させていただきます。これまで、国や東京都との意見交換や重要施策に対するパブリックコメントを提出してまいりました。今後も行政側との交流を継続する中で、会員企業の皆様の実績を国の重要施策に関連して紹介し、また、皆様のビジネスに役立つ政策関連情報を収集するなど、協会のプレゼンス向上と会員サービス充実に資する取り組みを展開していきます。

都市エネルギー協会 政策委員長 湯澤 秀樹

●広報委員会

委員長 桶ノ内 雅人〔三菱重工業株〕

副委員長 宮本 和彦〔日本環境技研株〕

委員 小林 仁〔株閥電工〕／宮村 貴史〔三浦工業株〕／椎野 一雄〔荏原冷熱システム株〕

岡田 保彦〔大阪ガス株〕／富樫 真則〔新日本空調株〕

事務局 松尾 淳



一般社団法人 都市環境エネルギー協会
JAPAN DISTRICT HEATING & COOLING ASSOCIATION



《雨上がりの宇宙》

都
市
環
境
工
ネ
ル
ギ
ー

108 2014 ◆ 夏号

発行日 ◎ 2014年 7月1日

発行人 ◎ 長瀬 龍彦

発行所 ◎ 一般社団法人都市環境エネルギー協会

〒104-0031 東京都中央区京橋2-5-21 京橋NSビル6F

TEL.03-5524-1196 FAX.03-5524-1202

<http://www.dhcjp.or.jp/>

編集人 ◎ 広報委員会 委員長 樋ノ内 雅人

製 作 ◎ 第一資料印刷株式会社

表紙デザイン・写真=籠山デザイン室

●本誌掲載記事の無断転載を禁じます。