



森ビルの都市づくりにおけるエネルギー供給について

森ビル株式会社 都市開発事業部 計画企画部 環境推進部

武田 正浩

Vertical Garden Cityは都市の環境問題に対する森ビルの解決手法です

「Vertical Garden City - 立体緑園都市」は、細分化した土地をまとめて建物を高層化することにより、地上部の建築面積は最小限に抑え、それによって生み出した広い空地を人々や自然に解放します。地表や屋上を緑で覆うことで、ヒートアイランド現象を緩和できます。また、多彩な都市機能の集積はエネルギー需要の平準化をもたらし、エネルギー効率を高めます。職住近接のコンパクトシティであれば、通勤、通学にかかる時間やエネルギーを大幅に削減し、資源のリサイクルや物流の効率化を図る効果もあります。

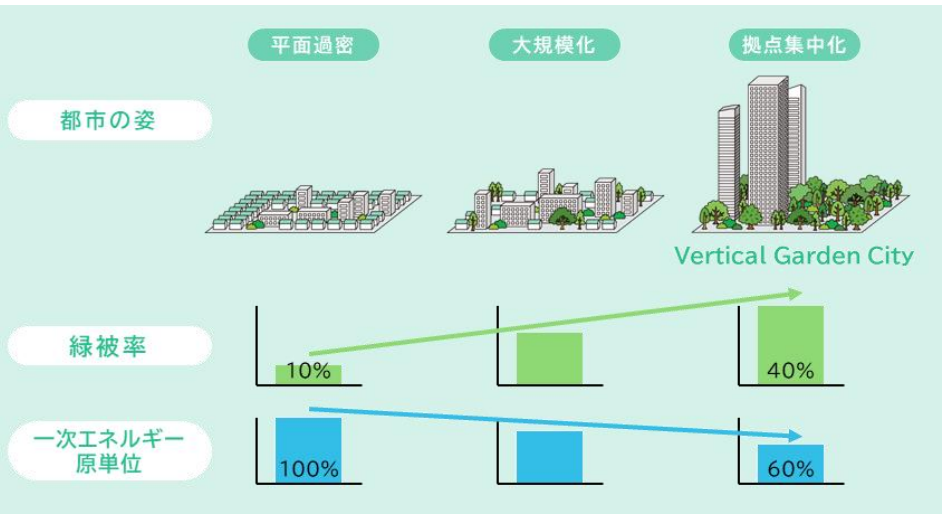


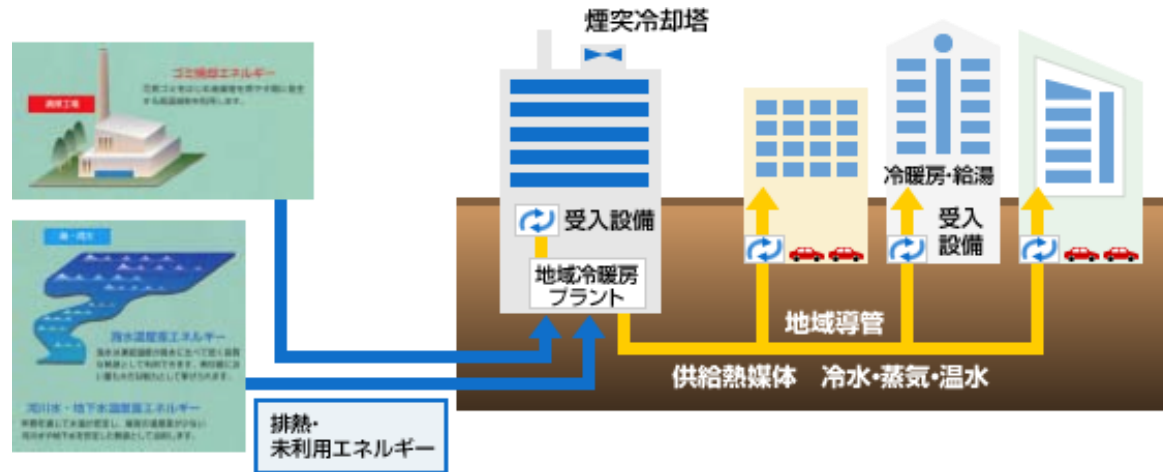
Vertical Garden Cityにより期待される環境面での3つの効果



エネルギー性能の比較においては、施設の大規模・用途複合化により、高効率機器の採用やエネルギーの面的利用など、多様な省エネ機能を組み込むことが可能となります。これにより一次エネルギー※原単位での比較では約40%もの削減が可能となります。

※一次エネルギー：化石燃料、原子力燃料、水力・太陽光など自然から得られるエネルギー





1. 省エネルギー

- 未利用エネルギーの活用による省エネルギー効果
- 高効率システムの採用による省エネルギー効果
- 高度な運転技術による省エネルギーと安定供給の実現

2. 環境保全効果

- 省エネルギー効果による一次エネルギー削減と環境保全
- クリーンエネルギーの使用、低NOxバーナーの採用等による環境保全
- ヒートアイランド対策への貢献

3. 地域の都市生活環境の向上効果

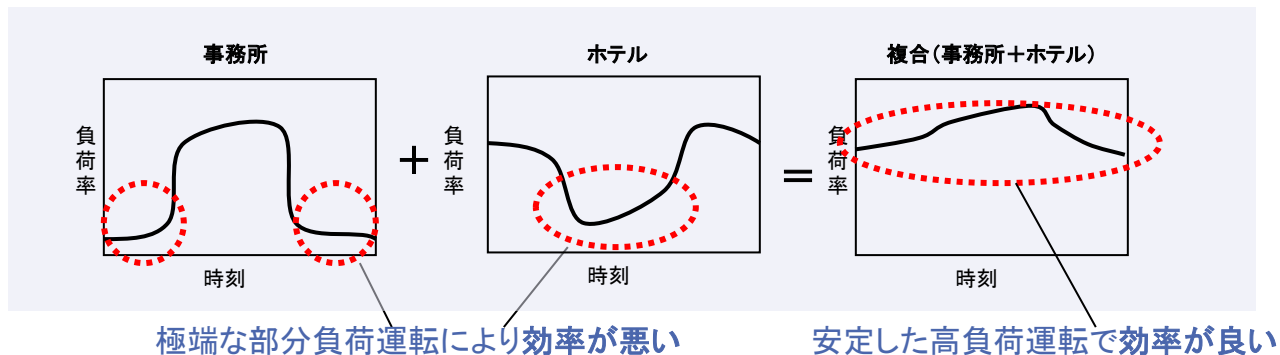
- 都市景観の向上
- 地域の防災性、安全性の向上

4. 需要家のメリット

- イニシャルコスト削減、スペース削減等

①用途複合、集約化による負荷平準化効果

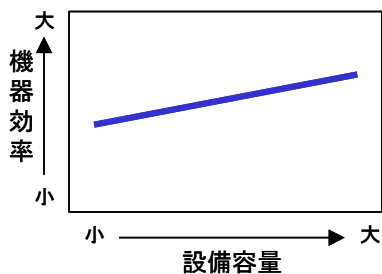
用途別に施設の使われ方が異なるため、その負荷カーブはそれぞれ異なる。これらをミックスすると個々では非効率な運転を、複合化、集約化することで高負荷で高効率な運転の実現が可能となる。



②高効率機器・システムの導入による省エネ効果

一般的に冷凍機や発電機などの設備機器は容量が大きい程効率が良いするため、地域冷暖房施設等では高効率機器を導入することが可能となる。

また、小規模では導入しにくいコージェネレーションシステムや蓄熱空調システムなどの高度で高効率なシステムの導入も可能である。



③専門運転管理員による高度な運転管理

- ・ 負荷予測、実績による最適運転の実施
- ・ 運転エネルギーデータによる効率管理
- ・ 予防保全、劣化診断による熱源機器の高効率運転維持



森ビルの地域エネルギー供給エリア



エネルギー供給会社概要

アークヒルズ熱供給は、熱供給のみ、六本木エネルギーサービス及び虎ノ門エネルギーネットワークは熱供給＋電気（特定送配電事業）

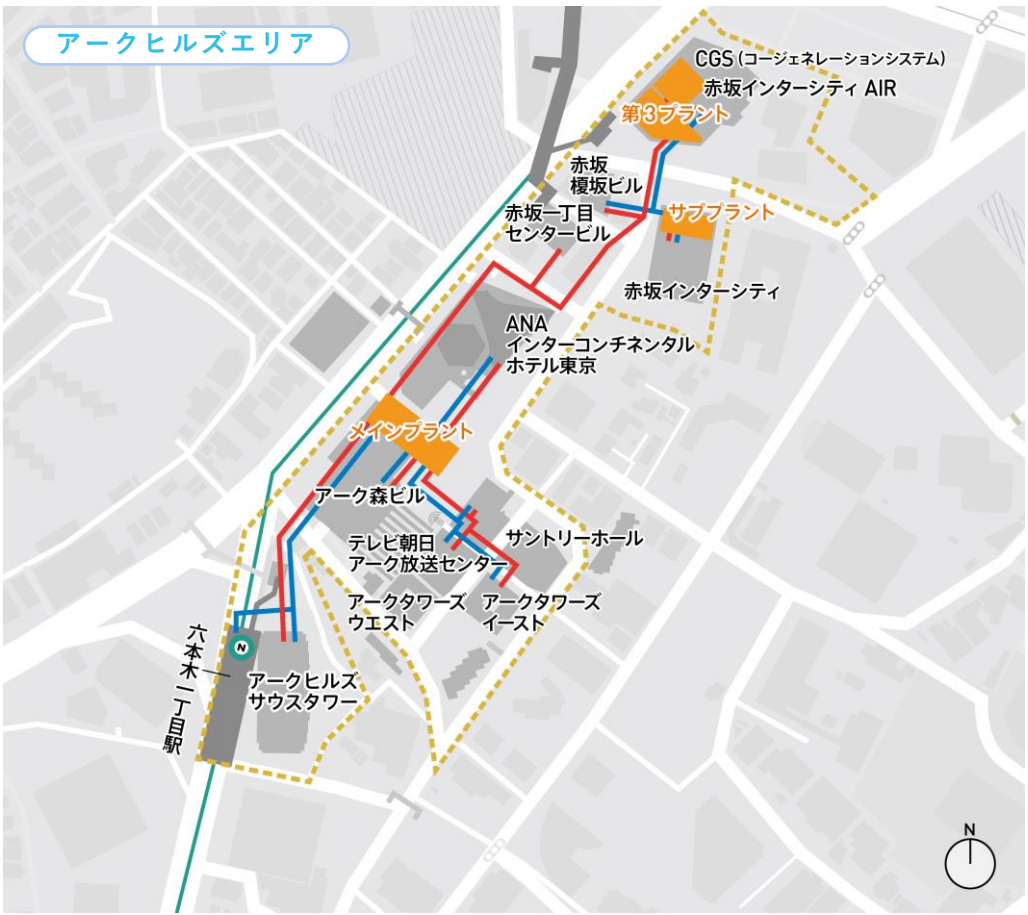
2024年度売上実績は3社合計 約120億円

	アークヒルズ 熱供給(株)	六本木エネルギー サービス(株)	虎ノ門エネルギー ネットワーク(株)
設 立	1984年12月6日	2000年8月4日	2016年10月21日
資本金	4億5千万円	4億9千万円	4億9千万円
出資会社	森ビル 他3社	森ビル 他1社	森ビル 他1社
事業内容	熱供給事業	熱供給事業 特定送配電事業	熱供給事業 特定送配電事業
供給床面積	70万㎡	75.5万㎡	130万㎡ (虎44万＋麻86万)
熱販売量（2024年度）	254,721GJ	487,636GJ	391,652GJ
冷熱	156,526GJ	318,495GJ	266,656GJ
温熱	98,215GJ	169,141GJ	124,996GJ
電気販売量（2024年度）	—	87,621MWh	98,823MWh

アークヒルズエリア

■概要

エネルギー密度が高く様々な用途が集積される都心の開発において、地域全体でエネルギーをネットワーク化し面的利用を推進することで、エネルギー効率と災害時のエネルギーセキュリティの向上を同時に実現しています。アークヒルズ周辺では、森ビルで管理するエリアに留まらず、近隣の開発と連携し、継続的にエネルギーネットワークを拡大し、周辺地域一帯での更なる効率化を図っています。



--- 供給エリア — 温熱導管 — 冷熱導管 — 送電線 ■ プラント



■導入と連携経緯

- ①1986年 アークヒルズにメインプラント設置し地冷導入
- ②2000年 六本木一丁目駅に冷水供給開始
- ③2005年 赤坂インターシティ内にサブプラント設置
- ④2009年 赤坂榎坂ビルに供給開始
- ⑤2013年 アークヒルズサウスタワー（旧ビル建替）へ供給開始
- ⑥2017年 赤坂インターシティAIR内に第3プラント設置（ビル内コージェネより蒸気受入）

アークヒルズエリア

■特徴

アークヒルズ熱供給は1986年竣工後同エリアへの供給に加え、2000年代に入り重要な都市基盤である六本木一丁目駅や周辺の建替えや再開発のタイミングに合わせ、新たな再開発エリアにサブプラントを設置しつつ供給エリアを広げてきた。このような経緯から自ずとプラントの設置年代が異なるため、プラント間の熱融通の利点を生かしてより効率の良いプラントからの供給を増やすことで、エリア全体効率の向上を図っている。また、熱供給事業においてタイミングや供給制限など様々な検討が必要となる設備更新について、プラントが3つに分散され、かつ年代が異なる利点を生かして計画的、効率的に行うことが可能となっている。

プラント	機器	台数	仕様	設置年
メインプラント (第1)	ボイラー	4台	12t/h	1986年
	吸収式冷凍機	4台	1,050USRT	2010年
	吸収式冷凍機	2台	700USRT	2010年
	ターボ冷凍機	2台	650USRT	2000年
	冷却塔	6台	825m ³ /h×4台、780m ³ /h×2台	
サブプラント (第2)	吸収式冷凍機	3台	800USRT	2005年
	ターボ冷凍機	2台	200USRT	2005年
	冷却塔	4台	518m ³ /h	
第3プラント	吸収式冷凍機	1台	700USRT	2017年
	ターボ冷凍機	2台	900USRT (中温冷水切替)	2017年
	冷却塔	3台	455m ³ /h	

■リニューアル事例

2010年に以下の更新を実施

< 冷凍機更新 >

旧) 吸収式冷凍機 1000RT×5台
650RT×2台
新) 吸収式冷凍機 1050RT×4台
700RT×2台

※機器効率向上 COP1.23から1.31へ約6.5%向上
※冷却水温度条件32℃→38℃から32℃→39.5℃
高温度差仕様採用

< エコノマイザ (熱回収) 増設 >

12ton/h×4台(内2台エコノマイザ設置)の内、未設置の2台に増設。

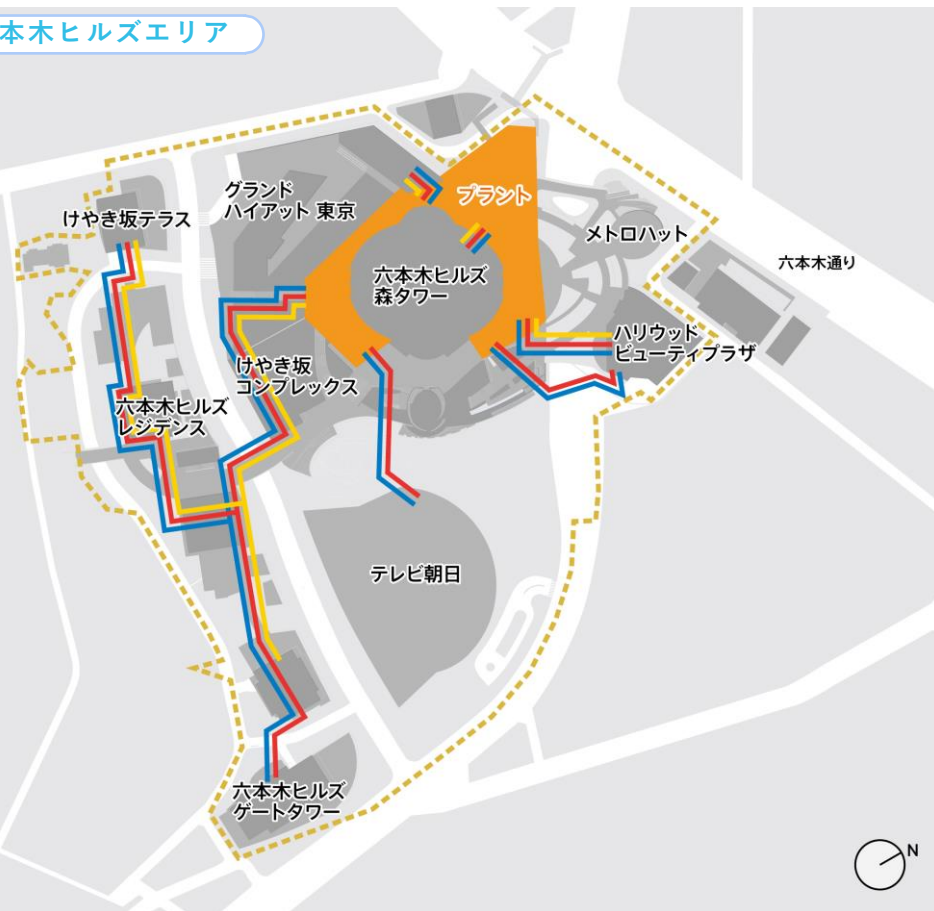
上記により、**約7.6%の省エネ効果**

六本木ヒルズエリア

■概要

六本木ヒルズでは六本木ヒルズ森タワーの地下に設置されたエネルギーセンターよりエリア全体に電気と熱を供給しています。大規模ガスコージェネレーションシステムにより電気を製造し、発電時の排熱により蒸気を発生させ、冷暖房に利用しています。多様な用途が混在する六本木ヒルズでは、1日を通じて電気・熱の需要があり、エネルギー需要が平準化されることから、約76%の高いエネルギー効率を実現しています。

六本木ヒルズエリア



--- 供給エリア — 温熱導管 — 冷熱導管 — 送電線 ■ プラント



■導入経緯

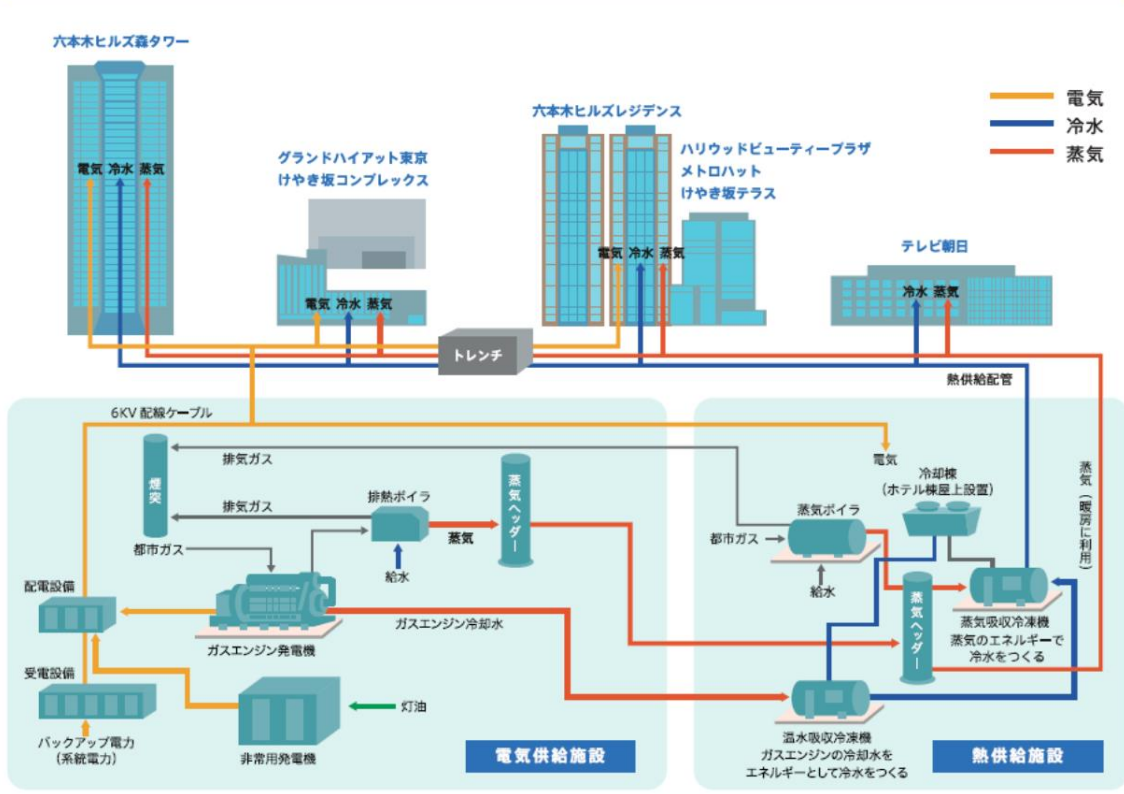
- ① 1995年電気事業法改正で特定電気事業が可能に、また同年の阪神淡路大震災により防災性能の重要性を認識
- ② 欧米アジア各国の電力網供給安定性は日本に比べ脆弱、かつ2000年問題で外資系金融企業は電力安定供給に対し強い危機感を抱いていた
- ③ 外資系金融・IT企業の電力安定供給志向に対して、特定電気事業によるコージェネレーションシステム（CGS）が合致すると判断
- ④ 当時はCGSは経済性重視のデマンドコントロール導入が多かったが、六本木では電力系統と常時連系、解列時には負荷選択遮断を行うことで切れ目の無い連続給電を可能とすることで付加価値の高いBCP電力とすることとした

六本木ヒルズエリア

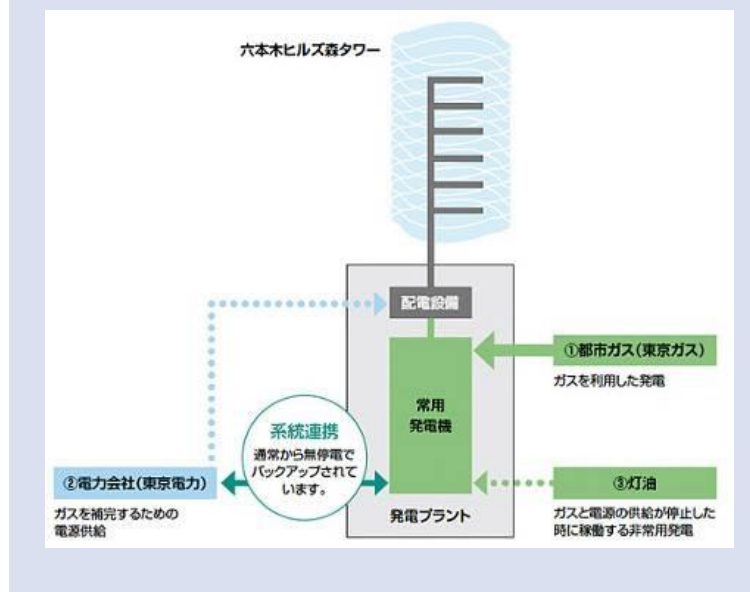
■特徴

六本木ヒルズは「逃げ込める街」を安心・安全のコンセプトに、災害時にもエネルギーの供給と止めずに業務や生活を継続可能とするための強靱なエネルギーシステムを備えた街です。都心ではじめて特定電気事業を活用した電気・熱の総合エネルギー供給事業でもあります。一番の特徴は、3重の安全性（1. 中圧ガスによる発電、2. 系統電力からの供給、3. 灯油による自家発電）です。東日本大震災の際にはエリア全体の節電により生み出された5,000kWの電気を系統へ供給することで系統全体安定化に寄与しました。

六本木ヒルズのコジェネレーションシステムと地域冷暖房



■BCP対応



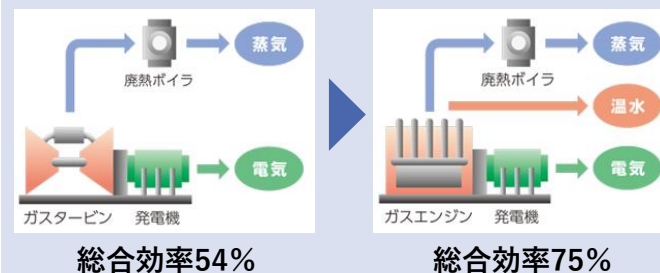
■積極リニューアル

最初に採用した蒸気噴射型ガスタービンはその構造的特徴から修繕費が大きくかかる機器であり、一部事業収支を圧迫している要因であった。また、想定外の故障により停止する頻度も増え、今後の安定供給に支障をきたす可能性が出てきており、様々な課題が浮き彫りになっていた。そこで、償却を待たずして老朽化したガスタービン（約15年）に替え、当時技術の進歩により電気と熱を高効率に利用するガスエンジン発電機が市場投入されていた時期でもあり、これを前倒しで導入することにより収支の改善を図ると同時に更なる省エネルギー、省CO2を目指した。また、電気事業法が一部改正され、特定電気事業で100%の発電設備所有と運用の義務が緩和されたこともあり、一部系統からの買電をすることで、運転効率も向上し収支改善を図ることができた。

機器	台数	仕様	更新年
ガスエンジン発電機	5台	5,750kW	2017年更新
ガスエンジン用排熱ボイラー	5台	2,360kg/h	2017年更新
ガスタービン非常用発電機(需要家)	3台	4,000kW	
ターボ冷凍機(INV)	2台	1,500USRT	ER-1・2 2023年更新 2500USRT 吸収式から更新
吸収式冷凍機	5台	2,250USRT	R3~7 2025年更新
ターボ冷凍機(固定速)	1台	2,190USRT	ER-8 2025年更新 2500USRT 吸収式から更新
大型蒸気ボイラー	2台	30t/h	
蒸気ボイラー	7台	4.8t/h × 2台、 2.5t/h × 5台	

■リニューアル事例

2017年にガスタービン発電機をガスエンジン発電機に更新を実施、**CO2排出量を約25%削減**



さらに、2025年に吸収冷凍機5台を更新し、うち1台をターボ冷凍機に更新することで、プラント全体の効率を向上

■概要

虎ノ門ヒルズビジネスセンターに設置された第1プラントより、同ビルおよび地下通路への供給を先行して行い、その後予定されていた虎ノ門ヒルズ駅と一体で開発した虎ノ門ヒルズステーションタワーに第2プラントを設置、第1プラントと接続することで駅施設を含めたエリア一帯へ、効率的に電気と熱の供給を実施しています。



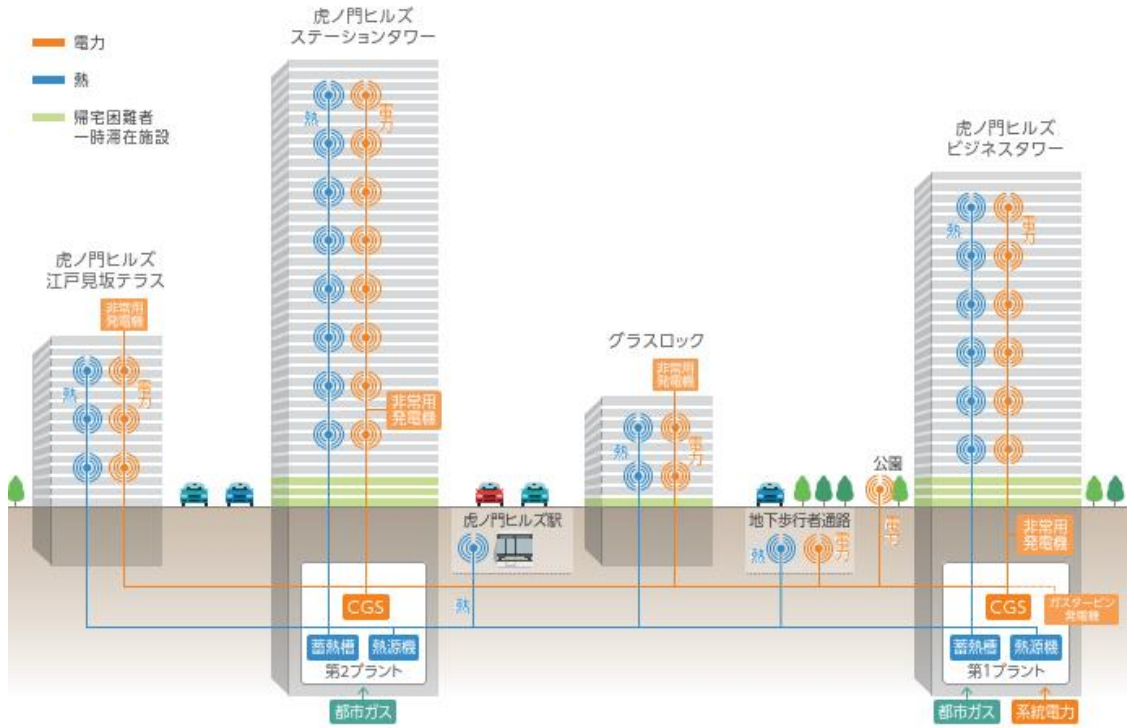
■導入と連携経緯

- ①2020年 虎ノ門ヒルズビジネスタワーに第1プラント設置、同ビルと同年開業の新駅「虎ノ門ヒルズ」および地下歩行通路（熱のみ）へ供給開始
- ②2023年 虎ノ門ヒルズステーションタワーに第2プラント設置、同ビルへ供給開始
- ③2024年 虎ノ門ヒルズガラスロック竣工、供給開始

虎ノ門ヒルズエリア

■特徴

2020年の虎ノ門ヒルズビジネスタワーの開発を契機に、将来の隣接エリアである虎ノ門ヒルズステーションタワーエリアとの連携を見据え、電気熱の面的エネルギー融通を視野に計画がなされた。2014年竣工の虎ノ門ヒルズ森タワーは単独ビルとしてBCP対応も踏まえたエネルギー供給システムを構築済みであったため、連携は見送った。このように段階的な都市開発計画に合わせて、エネルギープラントを整備。エネルギー需要に見合った設備構築により、効率的に進化し続けるエネルギー供給を実現。また、監視センターは第1プラントに設置し、第2プラント、虎ノ門・麻布台プラントを含めた統合監視を行っています。

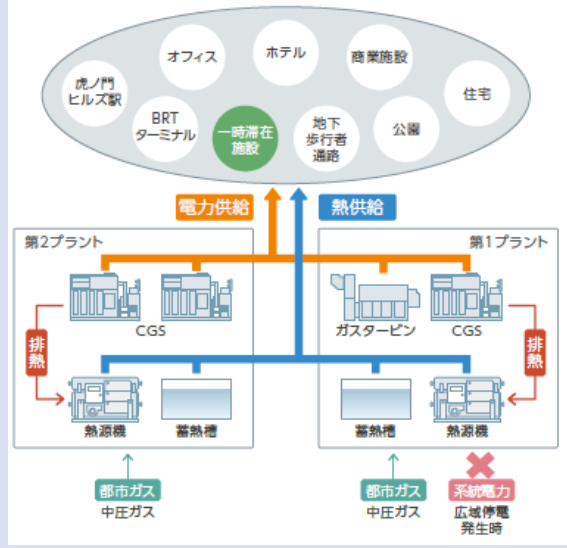


■コージェネ容量の最適化

エリア内に独自の電力ネットワーク（特定送配電網）を構築。第1プラントにて広域系統と接続し、第1・第2プラントに設置したコージェネレーションシステム（CGS6,000kW）の発電と合わせ、電力を供給。エリアの電力・熱需要に応じた柔軟なCGSの運用により、CGSからの排熱を余すことなく活用することで、環境性に優れた電力供給を実現しています。

■災害時の電力供給を強靱化

CGS（ガスエンジン発電機）と併せて、電力の起動性と追従性に優れたガスタービン発電機を設置することにより、災害時の電力供給を強靱化



虎ノ門一・二丁目地区 第1プラント

分類	機器名称	容量	台数
電力供給 主要機器	特別高圧変圧器	20,000kVA	2台
	CGS (ガスエンジン)	1,000kW	2台
	ガスタービン発電機 (保安用)	2,000kVA	1台
熱供給 主要機器	インバータ ターボ冷凍機	689RT	3台
	インバータ ターボ冷凍機	820RT	1台
	排熱回収型吸収冷温水機	600RT	2台
	中水熱利用ヒートポンプチラー	26RT	1台
	温水ヒータ (ガス専焼)	930kW	4台
	蓄熱槽 (冷水)	4,100m ³	—

虎ノ門一・二丁目地区 第2プラント

分類	機器名称	容量	台数
電力供給 主要機器	CGS (ガスエンジン)	2,000kW	2台
熱供給 主要機器	インバータ ターボ冷凍機	689RT	2台
	熱回収型ヒートポンプチラー	136RT	6台
	排熱回収型吸収冷凍機	400RT	2台
	蒸気ボイラ (ガス専焼)	2.5t/h	7台
	蓄熱槽 (冷水)	2,100m ³	—
	蓄熱槽 (冷水/温水)	3,400m ³	—

■概要

麻布台ヒルズエリアでは、麻布台ヒルズ森JPタワー地下に高効率エネルギーセンターを設置し、エリア一帯へ電気と熱のエネルギー供給を行っています。エネルギーセンターではAIを活用した統合型エネルギーマネジメントシステムを導入し、効率的な制御を実施するほか、エリアの下水熱などの未利用エネルギーの有効利用も図っています。



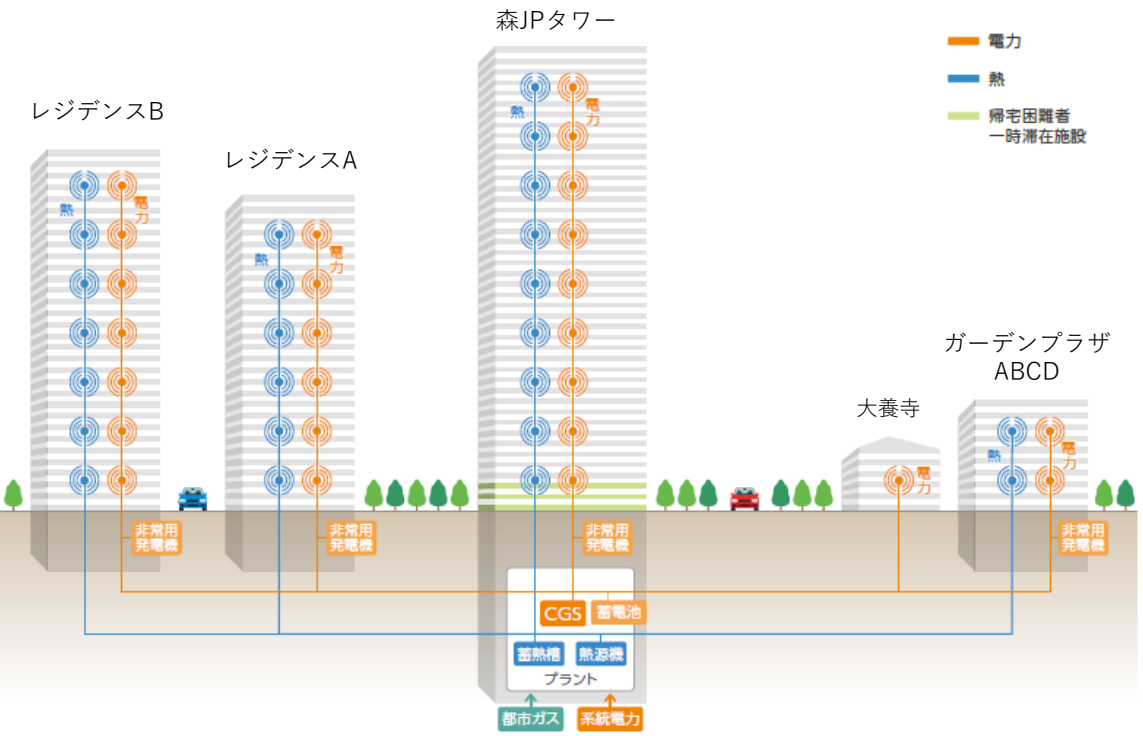
■導入と連携経緯

- ①2023年 麻布台ヒルズ竣工（レジデンスB除く）
センタープラントより各棟へ電気、熱を供給
- ②2025年 レジデンスB竣工、供給開始

麻布台ヒルズエリア

■概要

虎ノ門・麻布台地区は、住宅・オフィス・ホテル・商業施設・文化施設等の多様な都市機能が高度に融合されたコンパクトシティです。また、外国人の生活支援・交流施設・インターナショナルスクールも整備された、外国人にとっても暮らしやすい生活環境が形成されます。この街のコンセプト「Modern Urban Village」に合致した環境性に優れ、災害に強い電力・熱を供給しています。



■大規模蓄熱槽を活用した高効率熱製造

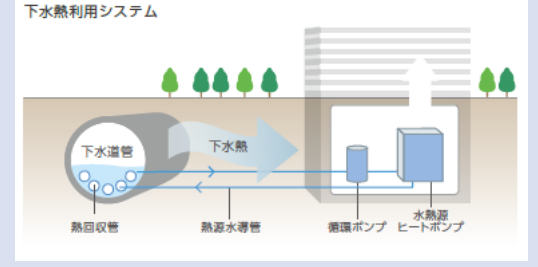
大規模蓄熱槽（10,200m³）・高効率熱源機・CGS排熱利用設備を設置し、中温冷水供給・高効率熱源機を最大限に活かす運用、エリアの需要や市場動向に応じたシステムの柔軟な運用、未利用エネルギー（下水熱、CGS排熱）の活用等により、環境性に優れた熱供給を実現しています。

■災害時のBLCP対応

災害時においても、住宅（1,400戸）・帰宅困難者を収容する一時滞在施設等の重要施設へ電力・熱を供給します。災害等により広域停電が発生した場合においても、電力の供給を継続することにより、住民の生活を守ります。また、森JPタワー等は、災害時の帰宅困難者を収容する一時滞在施設となります。電力・熱供給を継続することにより、安全な滞在機能の確保に貢献します。

■未利用エネルギーの活用

エリア内に整備した下水管より下水熱を集熱し、水熱源ヒートポンプにより冷水・温水製造に利用。通常では、海や河川に捨てられる未利用エネルギーを有効利用することで、エネルギー利用の効率化に寄与します。

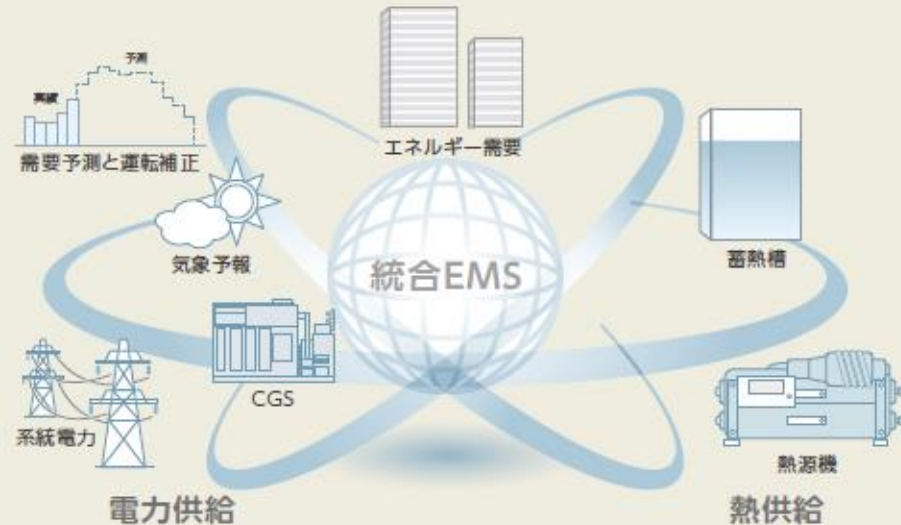


虎ノ門・麻布台地区 プラント

分類	機器名称	容量	台数
電力供給 主要機器	特別高圧変圧器	20,000kVA	2台
	CGS (ガスエンジン)	5,200kW	2台
	蓄電池 (リチウムイオン電池)	1,200kVA (300kWh)	1台
	ディーゼル発電機 (保安用)	1,250kVA	1台
熱供給 主要機器	ターボ冷凍機	1,100RT	2台
	ターボ冷凍機	1,350RT	2台
	熱回収型ターボ冷凍機	650RT	1台
	熱回収型水冷ヒートポンプチラー	162RT	4台
	下水熱利用ヒートポンプチラー	26RT	1台
	吸収冷温水機	1,000RT	2台
	排熱回収型吸収冷凍機	1,200RT	2台
	蒸気ボイラ (ガス専焼)	2.0t/h	2台
	蒸気ボイラ (ガス・油切替型)	2.0t/h	3台
	蓄熱槽 (冷水)	3,800m ³	—
	蓄熱槽 (中温冷水)	4,200m ³	—
	蓄熱槽 (冷水/温水)	2,200m ³	—

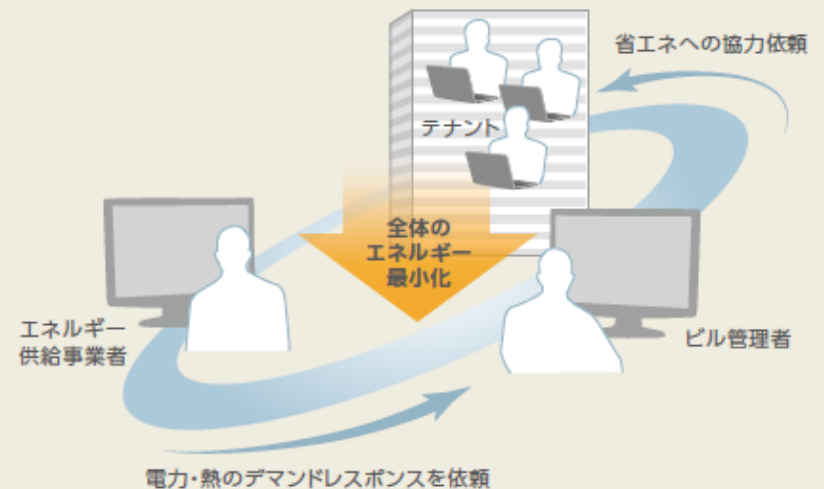
人工知能(AI)技術を活用したエネルギー利用の効率化

AI技術を活用した統合EMS(エネルギー管理システム)を導入。気象予報・過去の需要実績等を活用したエネルギーの需要予測を行うと共に、自家発電システムと熱製造システムの運用を最適化し、エネルギー利用の効率化を実現します。



エネルギー供給事業者・ビル管理者・テナントによる三位一体のエネルギー管理で、省エネを追求

エネルギー供給事業者と、ビル管理者、テナントの3者が連携し、供給サイドだけでなく消費サイドも加えた三位一体のエネルギー管理を実現。エネルギー供給事業者による需要予測に基づき、状況に応じた省エネ運用(電力・熱のデマンドレスポンス)をビル管理者に依頼、ビル管理者がテナント毎の省エネを管理し、全体のエネルギー最小化を目指します。また、エリア外からの節電要請に対しても取り組み、社会に貢献します。



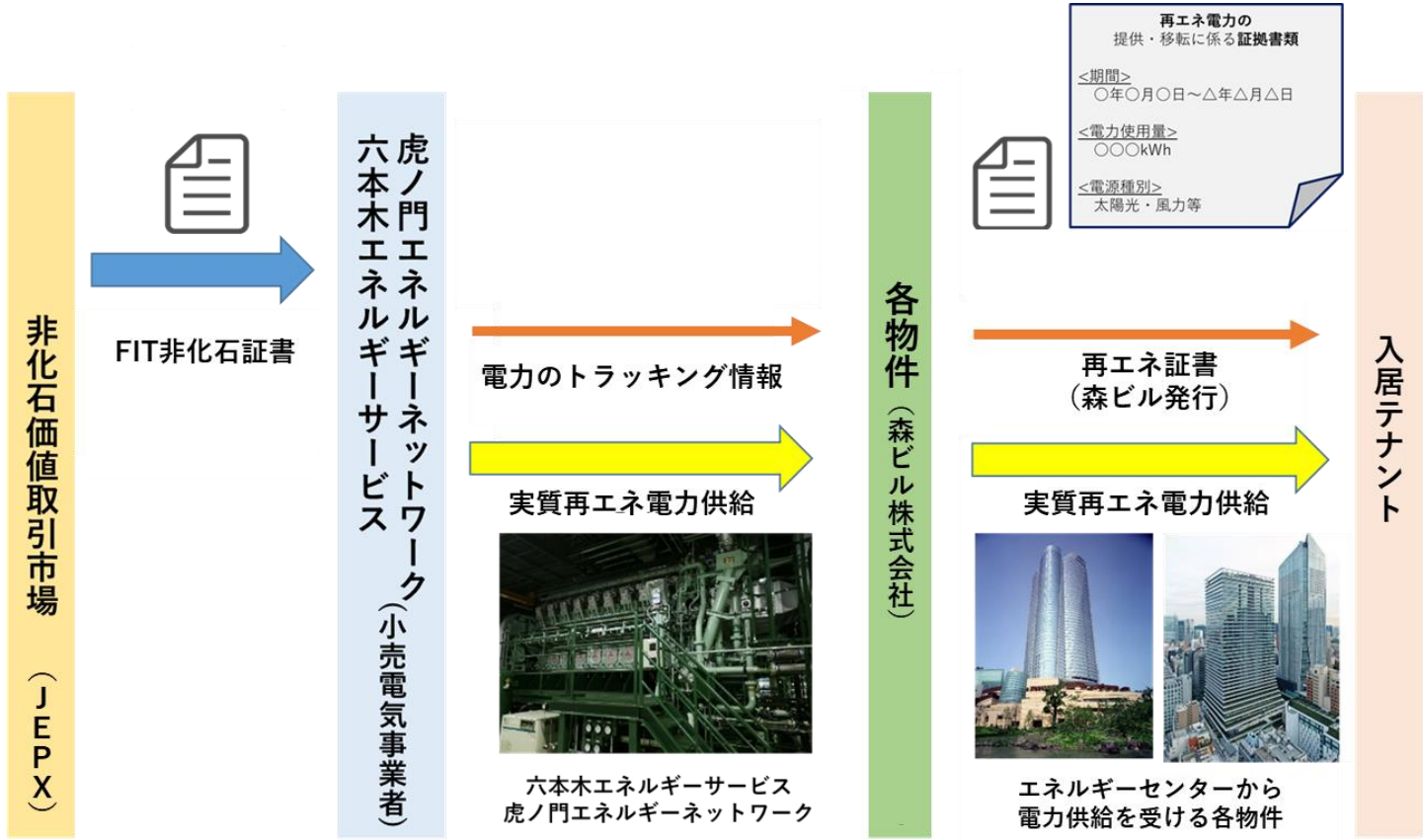
2024年度森ビルエネルギーセンター実績値と東京都平均値（2022年度）との比較



図1 蒸気系・非蒸気系のエネルギーの熱効率 ※地域1社1-供給実績報告書集計

エネルギー供給施設の再エネ化

森ビルは2019年8月より、「六本木ヒルズ森タワー」で希望するテナントに対し、「非化石価値取引市場」を活用した再生可能エネルギー電力の供給を業界初の取り組みとして実施し、2020年からは「虎ノ門ヒルズ ビジネスタワー」においても同様の取り組みを開始しました。独自のエネルギープラントと、これを運営する小売電気事業者を有していることから実現可能となったものですが、現在では物件全体（共用部、専有部（ただし住戸除く）すべて）に再生可能エネルギー電力の供給を行っています。「麻布台ヒルズ（住宅専有部含む全街区）」では竣工時より街全体に「RE100」に対応する再生可能エネルギーの電力を100%供給しています。



低炭素から脱炭素へ CGS容量の変遷

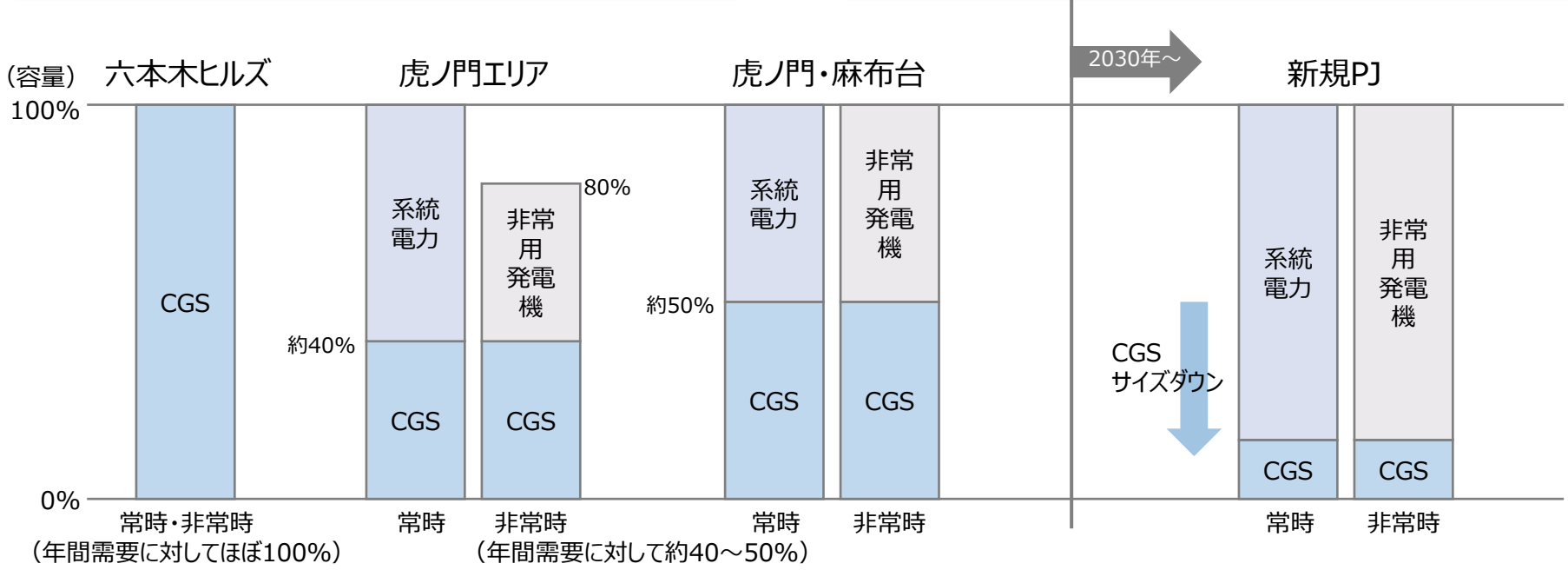
低炭素に向けた取り組み（～2030年）

- ・CGS排熱利用による省CO2エネルギー運用
- ・BCP電源としてのCGS活用



脱炭素に向けた取り組み（2030年～）

- ・サイト内での燃焼NG、電化の方向へ（グローバル）
- CGSサイズダウン？
- BCP電源は非発用メイン？



【計画フェーズ】

- 熱供給事業化への逆風＝事業化の困難性、リスクが増加 ⇒ 予見性著しく低下
 - ・ 建設費、人件費等の増加
 - ・ 燃料（主にガス）の高騰
 - ・ コスト競争力の低下（料金変更、転嫁の困難性）

- 政策的インセンティブの減少
 - ・ 開発時の容積緩和インセンティブ等の希薄化
 - ・ 補助事業の縮小（対象範囲や金額：現状コジェネ設備、導管の一部）

- 社会的期待度と事業性の乖離
 - ・ 道路占用許可、占用料問題
 - ・ 新技術導入のハードル（政策的、賦存量等）
 - ・ 新規加入、周辺開発への供給ハードル（コスト、時期、物理的要因等）

【運用フェーズ】

- 運営費用の増大
 - ・ 維持修繕費、人件費等の増加
 - ・ 電気、ガス代の高騰

- 大規模改修時の問題
 - ・ 建設費の高騰により採算悪化、リプレース等が進められない
 - ・ 基本的に料金増額変更が必要だが需要家との関係上難しい
 - ・ 複数プラントある大規模エリアでは、既存他エリアの他ビルへも影響（料金等）
 - ・ 改修事業への補助事業の縮小（対象範囲や金額）

以上