

パリ協定について（後編）

～パリ協定の意義およびニチアスとの関わり～

基幹産業事業本部 工事業業部 工事技術部

瀬川 美能留
小 倉 滉太郎

本稿はニチアス技術時報 2020年2号「パリ協定について（前編）～パリ協定の意義およびニチアスとの関わり～」の後編です。前編の構成は次の通りです。なお、図・表番号は前編からの通し番号とし、引用・参考文献番号は1) から起こしました。前編では、2020年に本格始動したパリ協定について、多数の国が参加することとなった経緯や協定の意義、そして気候変動の実体について、関連するデータを交えて紹介しました。後編では、温室効果ガスの特徴や今後のエネルギー動向、またこれに関連する当社の事業や取り組みについて、これまでに発表した文献と紐付けしながら紹介します。

はじめに

1. パリ協定の目標・意義
2. 京都議定書の反省
3. 気候変動の実体および要因について
 - 3.1 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）
 - 3.2 地球の気温はどのくらい上がったのか
 - 3.3 地球温暖化が進むとどんな悪影響が起こるのか
 - 3.4 温室効果ガスの濃度上昇

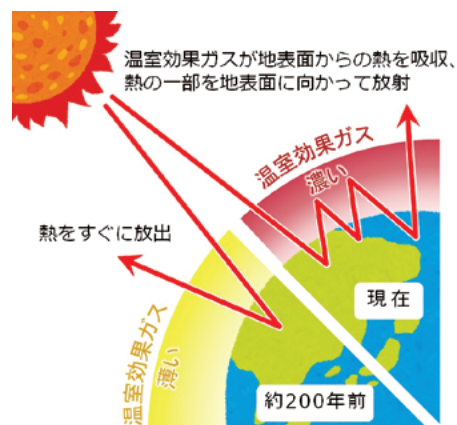


図7 温室効果ガスと地球温暖化のメカニズム

3.5 温室効果ガスとは

温室効果ガスとは、赤外線を吸収する能力をもつ気体のことで、大気中に存在すると温室効果をもたらすのでこの呼び名がある。温室効果ガスは地表面からの熱をいったん吸収し、熱の一部を地表面に向かって放射する。日射に加えて、こうした温室効果ガスからの放射による加熱があるため、地表面はより高い温度となり、温室効果がもたらされる（図7）。

温室効果ガスの主なものとしては、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、対流圏のオゾン、フロンなどがある（図8）。大気中の濃度としては二酸化炭素が多くを占めているが、フロンや対流圏のオゾン、メタンなどの微量気体の温室効果は、二酸化炭素

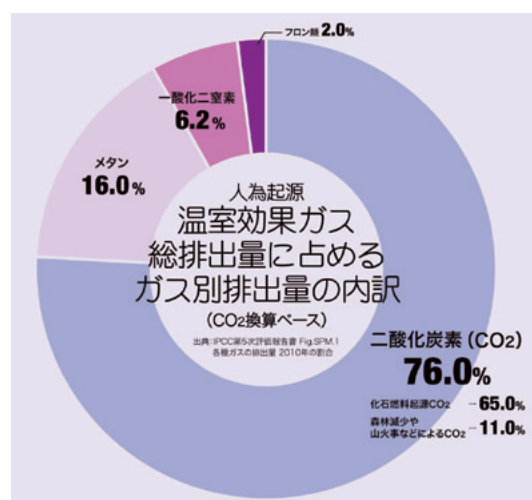


図8 温室効果ガス総排出量に占めるガス別排出量

出典) IPCC第5次評価報告書
全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト (<https://www.jccca.org/>) より

表2 温室効果ガスの特徴

温室効果ガスの種類および物質例		地球温暖化係数（※）			性質	用途、排出源
		SAR (1995)	AR4 (2007)	AR5 (2013)		
二酸化炭素（CO ₂ ）		1	1	1	代表的な温室効果ガス。	化石燃料の燃焼など。
メタン（CH ₄ ）		21	25	28	天然ガスの主成分で、常温で気体。よく燃える。	稲作、家畜の腸内発酵、廃棄物の埋め立てなど。
一酸化二窒素（N ₂ O）		310	298	265	数ある窒素酸化物の中で最も安定した物質。他の窒素酸化物（例えば二酸化窒素）などのような害はない。	燃料の燃焼、工業プロセスなど。
CFC(クロロフルオロカーボン)類	CFC-11	3,800	4,750	4,660	オゾン層を破壊するフロン。強力な温室効果ガスでもある。	スプレー、エアコンや冷蔵庫などの冷媒、化学物質の製造プロセスなど。 当社ではCFC、HCFCは既に全廃。HFCは一部製品で使用 중이다が、次世代発泡剤への代替化を進めている。
HCFC(ハイドロクロロフルオロカーボン)類	HCFC-141b	600	725	782		
HFC(ハイドロフルオロカーボン)類	HFC-245fa	—	1,030	858	塩素がなく、オゾン層を破壊しないフロン。強力な温室効果ガス。	半導体の製造プロセスなど。
	HFC-365mfc	—	794	804		
PFC(パーフルオロカーボン)類	PFC-14	6,500	7,390	6,630	炭素とフッ素だけからなるフロン。強力な温室効果ガス。	電気の絶縁体など。
SF ₆ （六フッ化硫黄）		22,900	22,800	23,500	硫黄の六フッ化物。強力な温室効果ガス。	半導体の製造プロセスなど。
NF ₃ （三フッ化窒素）		—	17,200	16,100	窒素とフッ素からなる無機化合物。強力な温室効果ガス。	

（※）地球温暖化係数100年値（二酸化炭素（CO₂）を1とする）。IPCC 評価報告書毎に見直しがあり、数値は変動する。
出典）全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト (<https://www.jccca.org/>) およびIPCC第2次、第4次、第5次評価報告書より当社で編集

よりもはるかに強いといわれ（表2）、かつ大気中濃度は、おおむね二酸化炭素よりも高い増加率を示しており、温室効果の拡大が懸念されている。

当社では、硬質ウレタンフォーム保温材の発泡剤として、以前はCFC（クロロフルオロカーボン）やHCFC（ハイドロクロロフルオロカーボン）といったフロン類を使用していたが、現在はほとんどの製品を炭酸ガス発泡品（水発泡品とも呼ばれる）に切り替えた（図9）。一部厳しい断熱性能の要求がある特定顧客向けの製品にのみ代替フロンHFC（ハイドロフルオロカーボン）を使用しているが、これも温室効果の小さい次世代発泡剤HFO（ハイドロフルオロオレフィン）への切り替えを進めている。

当社は、2000年台初頭に業界に先駆けて、発



図9 炭酸ガス発泡品に切り替えた当社の硬質ウレタンフォーム保温材 フォームナート® TNシリーズ

泡剤のノンフロン化を手掛けた。発泡剤の変遷やその特徴については、ニチアス技術時報2014年1号「硬質ウレタンフォームの発泡剤をめぐる環境問題対策の動向について」を参照されたい。

3.6 地球がもつ温度調整機能

地球の地表付近の大気組成は、窒素が78.1%、酸素が20.9%、アルゴンが0.93%、二酸化炭素が0.04%（400ppm）となっている（数値は場所や時期によって変動する）。この組成が絶妙なバランスであり、生命活動に必要な酸素がふんだんにあり、温室効果ガスの二酸化炭素がほどよくブレンドされている。

また大気とそれ以外（海やマントルなどの地中）の地球との間で、炭素の循環がうまく具合になされることで、気候の暴走にブレーキがかかるような機能が働き、寒暖差の小さいマイルドな気候が保たれている。地球惑星科学の研究が進展するにつれて、このような気候を制御する仕組みの存在が徐々に明らかになってきた。

地球がもつ気候制御の仕組み（炭素循環）について順を追って説明する。

①火山活動を通じた地中の二酸化炭素が火山ガス

として放出され、大気中の二酸化炭素濃度が増加していき、温室効果により地球表層の気温が上昇する。

②地球の温度が上がると、海水の蒸発が活発になり雲ができて雨が降る。この雨に大気中の二酸化炭素が溶けて、炭酸となり一部は地表に降り注ぐ。この時、地球表層の主要な構造物である珪酸塩鉱物が風化を起し、海洋に流れ込んで炭酸塩として沈殿することで、大気中から二酸化炭素が取り除かれる。

③一連の反応が進むと、大気中の二酸化炭素濃度が低下することから、温室効果ガスの影響が小さくなり、表層温度は下がる。表層温度が下がると降水の減少と共に風化現象も抑えられることから相対的に火山活動の影響が大きくなり、大気中の二酸化炭素濃度が上昇を始める。

このように地球には、二酸化炭素のやり取りを通じた壮大な気候の安定化メカニズムが存在すると考えられている。

ところがここに来て、この精密機械のような気候制御に変調の兆しが現れている。原因は人間のもたらした環境変化、つまり化石燃料の燃焼による温室効果ガスの大気への放出である。過去260万年間にわたって地球は氷期と間氷期を繰り返してきたが、およそ250年前までの過去80万年間は、大気中の二酸化炭素濃度は氷期には180～200ppmの間に収まり、間氷期には約280ppmとほぼ一定であった。ところが産業革命以降、大気中の二酸化炭素濃度は増え続けて、現在は400ppmに達している。地球の平均温度が産業革命前より1.5～2℃上昇すると、地球の気候は新しいステージに変わり、長期的には産業革命以前より4～5℃高くなり安定すると予測する研究者もいる¹⁾。

4. 化石燃料の行方

4.1 石炭・石油から低炭素時代への転換

産業革命以降、人類は化石燃料を大量に利用し

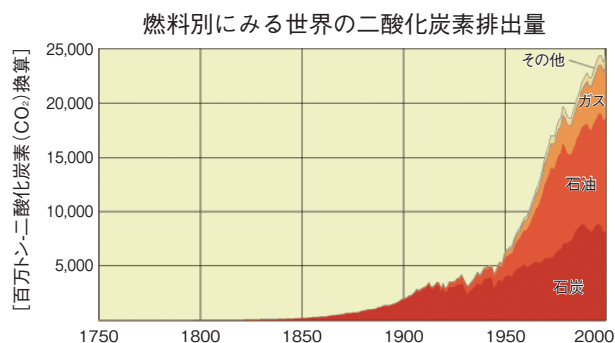


図10 燃料別に見る世界の二酸化炭素排出量の推移

出典) オークリッジ国立研究所
全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト (<https://www.jccca.org/>) より

(図10)、工業が発達し、大量生産、大量消費、大量廃棄を重ねながら経済成長を加速させてきたが、足元の気候変動やそれに伴う環境破壊、将来にわたるリスクが明らかになるに連れ、各国のリーダーは経済発展と環境対応の狭間で政策の舵取りを迫られている。

石炭・石油から天然ガス、バイオマス、再生可能エネルギー（太陽光、風力、水力など）へのエネルギーへの転換を迫られており、特に石炭火力発電については、世界の投資家から厳しい目が向けられるようになった。欧州では将来の石炭廃止を政策として掲げる国も増えており、日本国内でも計画の延期や中止といった案件が増えている。

4.2 天然ガスの位置づけ

1969年11月4日、アラスカLNG計画の第1船「ポーラ・アラスカ号」が液化天然ガス（LNG, Liquefied Natural Gas）を積んで東京湾の根岸工場に到着してから、2019年秋でちょうど50年を迎えた。当社はこの半世紀にわたり、LNG基地設備の保冷工事に携わってきた（図11）。

本項では天然ガスの特徴やパリ協定を見据えた現在のエネルギー源としての位置づけについて紹介する。天然ガスはメタン（CH₄）を主成分とする炭化水素系ガスであり、元々重質の炭化水素や硫黄分などの不純物が少ない気体燃料である。1950年代中ごろから20年近く続いた日本の高度成長期に硫酸化物（SO_x）や窒素酸化物（NO_x）および煤塵（ばいじん）を原因とした大気汚染による公害問題が深刻になり、これら有害物質の排出が少



図11 LNG受入れ基地の配管保冷工事の一例

ない天然ガスへの燃料転換が始まった。天然ガスをLNGにするプロセスにおいては硫化水素（ H_2S ）などの不純物、二酸化炭素（ CO_2 ）およびペンタン以上（ C_{5+} ）の重質分が除去されるので、さらにクリーンな燃料となっている。また近年は、化石燃料の中では単位発熱量当たりの二酸化炭素の排出量が少ないエネルギー源であることや、石油と比較して、産地が分散していることから供給の安定性が高い燃料としても注目されている²⁾。

天然ガスの輸送はパイプラインとLNGの2種類がある。アメリカや欧州ではパイプラインが使用され、遠隔地（一般に3,000km以上）や島国への輸送はLNGの形で輸送される。

天然ガスの生産量と消費量、貿易量の上位国を表3に記す。天然ガスの生産量は2008年まではロシアが世界一を誇っていたが、2009年からはアメリカがシェールガスの増産を受け世界一となった。またアメリカは2017年には遂に生産量が消費量を上回る純輸出国へと変貌を遂げた。一方、日本の天然ガスの自給率は僅か2%程度に留まり、ほぼ全てを輸入に依存している。その消費量は（2018年にカナダに抜かれ）世界第6位となっている。

世界の天然ガスの取引において、パイプラインによる貿易量はLNGの2倍程度で推移している。日本は輸入の全てをLNGで受け入れており、LNGによる輸入量は世界一となっている。

天然ガスは今や、日本国内では発電の4割を担い、ビルを冷房し、工場の熱需要を支え、再生可能エネルギーのベストパートナーになった。今後ともポスト石炭、石油の切り札として、利用が拡大していくと予想される。

一方で天然ガスも他の化石燃料と変わりなく、燃焼により二酸化炭素が発生し、埋蔵量も無限ではないことから、早期に再生可能エネルギーに転換すべきとの声もあるが解決すべき課題は多い。

表3 天然ガスの生産、消費、貿易量（2018年）³⁾

単位：億 m^3

天然ガスの生産量

1	アメリカ	8,318	21.5%
2	ロシア	6,695	17.3%
3	イラン	2,395	6.2%
4	カナダ	1,847	4.8%
5	カタール	1,755	4.5%
6	中国	1,615	4.2%
7	オーストラリア	1,301	3.4%
8	ノルウェー	1,206	3.1%
9	サウジアラビア	1,121	2.9%
10	アルジェリア	923	2.4%
合計		38,679	



天然ガスの消費量

1	アメリカ	8,171	21.2%
2	ロシア	4,545	11.8%
3	中国	2,830	7.4%
4	イラン	2,256	5.9%
5	カナダ	1,157	3.0%
6	日本	1,157	3.0%
7	サウジアラビア	1,121	2.9%
8	メキシコ	895	2.3%
9	ドイツ	883	2.3%
10	英国	789	2.0%
合計		38,489	

パイプラインによる輸出力

1	ロシア	2,230	27.7%
2	ノルウェー	1,143	14.2%
3	カナダ	772	9.6%
4	アメリカ	676	8.4%
5	アルジェリア	389	4.8%
6	トルクメニスタン	352	4.4%
7	オランダ	325	4.0%
8	カザフスタン	256	3.2%
9	カタール	202	2.5%
10	ウズベキスタン	140	1.7%
合計		8,054	



パイプラインによる輸入量

1	ドイツ	1,008	12.5%
2	アメリカ	773	9.6%
3	イタリア	562	7.0%
4	中国	479	5.9%
5	メキシコ	458	5.7%
6	英国	428	5.3%
7	トルコ	376	4.7%
8	フランス	368	4.6%
9	オランダ	356	4.4%
10	ロシア	252	3.1%
合計		8,054	

LNGによる輸出力

1	カタール	1,048	24.3%
2	豪州	918	21.3%
3	マレーシア	330	7.7%
4	アメリカ	284	6.6%
5	ナイジェリア	278	6.5%
6	ロシア	249	5.8%
7	インドネシア	208	4.8%
8	トリニダード・トバゴ	168	3.9%
9	オマーン	136	3.1%
10	アルジェリア	135	3.1%
合計		4,310	



LNGによる輸入量

1	日本	1,130	26.2%
2	中国	735	17.0%
3	韓国	602	14.0%
4	インド	306	7.1%
5	台湾	228	5.3%
6	スペイン	150	3.5%
7	フランス	131	3.1%
8	トルコ	115	2.7%
9	パキスタン	94	2.2%
10	イタリア	80	1.9%
合計		4,310	

現在、再生可能エネルギーのほとんどは発電利用に限定されており、その大半が気象、気候に発電量が大きく左右される太陽光発電・風力発電である。また世界のエネルギー需要に占める電気のシェアは2～3割程度であり、残りの7～8割の大半は化石燃料を熱源や輸送機（自動車、船、航空機）用の燃料、化学品の原料等として直接的に利用している。これらの用途については、バイオ燃料など一部実用化されているものもあるが、研究・実証試験段階のものが多くが実情である。今後の動向は再生可能エネルギーの普及や技術革新、コスト低減の進捗にかかっていると見えるが、当面は天然ガスの果たす役目は大きいと考えられる⁴⁾。

なお当社のLNG関連（LNGタンク、LNG船）の保冷工事の主要実績については、ニチアス技術時報2018年1号「ニチアスの保冷技術」に、またLNG船の防熱工事の一例をニチアス技術時報2020年2号「SPB®方式大型LNG運搬船のタンク防熱工事」で紹介しているので併せて参照されたい。

4.3 バイオマス

化石燃料には分類されないが、地球温暖化対策（二酸化炭素削減）として注目されているバイオマスについても触れておく。バイオマスは主に古新聞や食品廃材、生ごみに代表される廃棄物、林地残材（間伐材・被害木など）や資源作物の絞りかすといった未利用物を起源としている。石炭、石油、天然ガスなどの化石燃料は、動植物が化石化した炭化水素で、その成分のほとんどは炭素と水素である。一方、生物の遺骸であるバイオマスは生物燃料とも言われ、炭素、水素の他酸素を含む炭化水素からできている（表4）。

燃料の発熱に関係する元素は炭素と水素だけなので、化石燃料の発熱量は酸素を含むバイオマスよりも高くなる。発熱量当たりの二酸化炭素の排

出量は炭素（C）と水素（H）の割合に左右され、炭素（C）の割合が大きくなるほど二酸化炭素がたくさん発生する。同じ炭化水素でも石炭から（水素分の多い）天然ガスへの転換が温暖化防止策になるのはそのためである。

バイオマスの代表である木材も単位熱量当たりでは、石油と同じくらいの二酸化炭素が発生する。しかしそれはこの数十年から数百年の間に大気中から吸収したものであり、燃焼により再び大気中に戻されたと見ることもできる。そしてこの二酸化炭素が若い樹木に確実に吸収される体制ができていれば、長期的には大気中の二酸化炭素の濃度を高めることにはならない。バイオマス燃料がカーボンニュートラルと呼ばれる所以である（表4）。

しかしながらバイオマスは生物の成長以上の量を獲得することはできない。同様に石炭や石油、天然ガスも元々は生物が何千万年もの歳月をかけて化石化したものであるが、人類が使い過ぎてしまうことから、再生可能な資源ではなくなってしまったとも言える。

なお当社では、木質チップやパームヤシ殻（PKS）、生活ごみ等を燃料としたバイオマス発電所の燃焼室やボイラー、タービン等の保温・耐火工事も手掛けていることを付け加えておく。

5. 不調に終わったCOP25、そして新型コロナウイルスの大流行

2019年12月、スペインで第25回国連気候変動枠組み条約締約国会議（COP25）が開催された。その前月（11月）には世界第2位の温室効果ガスの排出国であるアメリカがパリ協定からの離脱を正式に国連に通告（離脱手続きが完了するのは2020年11月4日）し、冷や水を浴びせられた形での開催となった。

表4 主要な燃料の特性比較⁵⁾

	原子の比			重量比 (%)			発熱量 GJ/t	CO ₂ 排出量 kg/GJ
	C	H	O	C	H	O		
石炭	1	1	<0.1	85	6	9	28	120
石油	1	2	0	85	15	0	42	75
メタン（天然ガス）	1	4	0	75	25	0	55	50
木材	1	1.5	0.7	49	6	45	20	77

本会議では、国連環境計画が11月に公表した報告書で各国が現状の目標を達成しても気温は3.2℃上昇する、と警告したことも受けて、各国が温室効果ガスの削減目標の上積みを話し合ったが、義務づけには至らず、上積み幅は各国の判断に委ねられた。またもうひとつの焦点であったパリ協定の詳細なルール作りは、決定を次回のCOP26に持ち越した。特に排出権取引について、先進国が途上国に協力して温暖化ガスを削減した分を自国の目標達成に充てる仕組みを整える予定だったが、途上国側の反発が強く合意に至らなかった。

なお日本からは環境大臣が出席し、日本が5年連続で温室効果ガスの排出量を削減した実績をアピールしたが、石炭火力発電の廃止など脱炭素に向けた具体策には踏み込まず、現状の温室効果ガスの削減目標の上積みも見送ったことから、世界から批判を浴びてしまったという報道もある⁶⁾。COP26では、改めて省エネ大国としての存在感を示し、必ずや名誉を挽回してくれると信じたい。

そして本稿の執筆中（2020年4月）に新型コロナウイルス感染症の世界的な大流行が発生した。都市の封鎖や工場停止、航空便のキャンセルが相次ぎ、各国の社会や経済は麻痺した。これにより原油の需給バランスは崩れニューヨーク原油先物価格が史上初めてマイナス水準に沈む場面があった。

その一方で、新型コロナウイルスの流行地域ではエネルギー消費や人々の移動が減り、二酸化炭素の排出量が記録的な低水準となっている。大気汚染が深刻なインドでは大気汚染の改善により都市部でもヒマラヤ山脈が見えるなどの改善が起きているという⁷⁾。皮肉にも経済活動が環境破壊の要因であることが明確な形となったわけであるが、一方で人の自由や雇用が失われる温室効果ガスの削減など誰も望んでいない。今こそ人類の英知を結集して、世界レベルで地球の明るい未来を考える契機となって欲しいと願わずにはいられない。

おわりに

パリ協定の意義や目標、今後のエネルギー動向、またこれに関連する当社の事業や取り組みについ

て、2回にわたり紹介した。

地球温暖化を止める特效薬はないものの、まずはひとりひとりが気候変動に関心を持ち、省エネルギー対策などできることから始めていくことが重要と考えられる。また世界の投資は石油、石炭から天然ガス、再生可能エネルギー（脱炭素）へ向かっており、これを意識した企業活動も求められている。

そのような環境のなかで、当社は「断つ・保つ[®]」の技術を通して、省エネルギー、省資源、また快適、安全な環境作りなどに役立つ製品や技術の開発を進め、地球環境の保全に貢献して参る所存である。

また本稿が気候変動について、改めて考えるきっかけとなれば幸いである。

参考文献

- 1) 横山祐典, 地球46億年 気候大変動 炭素循環で読み解く, 地球気候の過去・現在・未来, 講談社, 2018年.
- 2) 日本エネルギー学会, 天然ガスのすべて, コロナ社, 2008年.
- 3) BP Statistical review of World Energy 2019. (www.bp.com/statisticalreview)
- 4) 今井 伸, 橘川武郎, LNG 50年の軌跡とその未来, 日経BPコンサルティング, 2019年.
- 5) 熱電併給システムではじめる木質バイオマスエネルギー発電, 日刊工業新聞社, 2016年.
- 6) 2019年12月28日付け日本経済新聞「COP25で日本の発電に批判 石炭火力 消えた輸出制限 小泉氏案に縦割り行政の壁」.
- 7) 2020年5月10日付け日本経済新聞「温暖化ガス コロナで急減 経済再開時の抑制焦点」.

*「フォームナート」はニチアス(株)の登録商標です。

*「SPB」はジャパン マリンユナイテッド(株)の登録商標です。

*「断つ・保つ」はニチアス(株)の登録商標です。

筆者紹介



瀬川 美能留

基幹産業事業本部 工事事業部
工事技術センター長 兼
工事技術部 技術開発課長

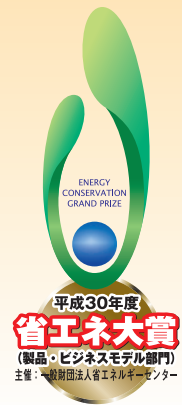


小倉 滉太郎

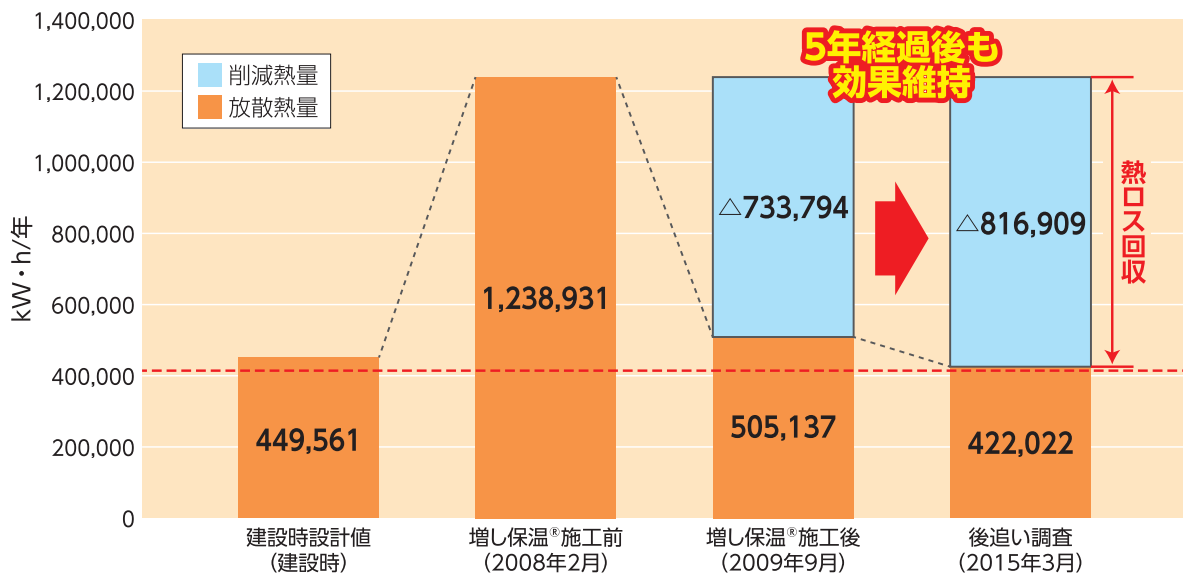
基幹産業事業本部 工事事業部
工事技術部 技術開発課

既設保温材の上に重ね巻きで保温材熱ロス削減 エアロジェル 増し保温[®] 工法

- プラントの経年による保温材の劣化から熱損失を調査、提案、改善、検証するビジネスモデル
- 施工は既設保温材の上から行うため、稼働中でも安全に施工できる工法
- 保温性能維持により継続的な省エネ対策、CO₂削減効果が可能



■ システムフロー



■ 年間稼働時間 8,760時間 ■ 化学工場 蒸気配管 80A~200A (総延長700m、面積1,200m²) ■ 施工時期 2009年6~8月



※「増し保温」は、ニチアス(株)の登録商標です。
※パイロジェルはAspen aerogels, Inc.の登録商標です。