経済産業省

2019年度
第4回業務委員会
資料№2-4

欧州（英独）における熱量バンド制の調査報告について

２０１９年１１月１２日

資源エネルギー庁

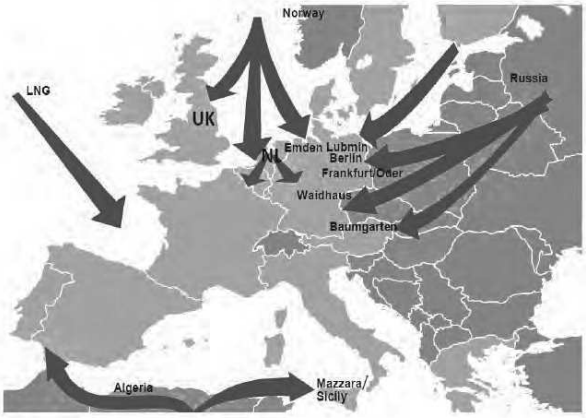
目次

１．欧州の熱量バンド制の背景
２．ガス導管の現状
３．熱量バンド制の基準と運用
４．熱量変動の需要家への影響
５．今後想定される需要家への影響
６．需要家への課金と公平性の担保
７．まとめ

1．欧州の熱量バンド制の背景（EU大でのPLガスの安定調達）

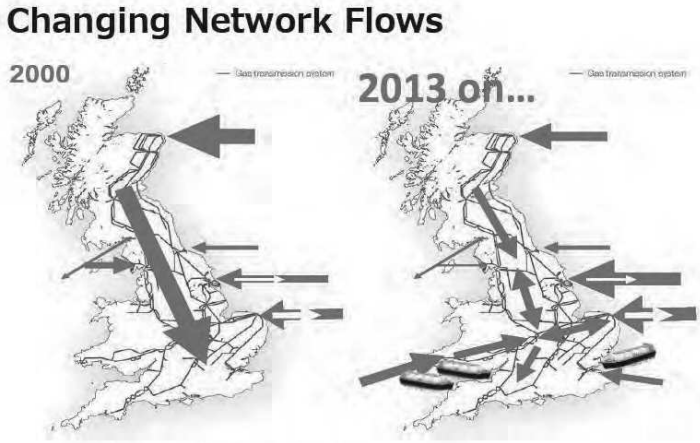
- 欧州では、多くのガス田から異なる熱量のガスが安定的に産出され、広域パイプラインで各地に供給するため、EU大で広めの熱量幅がネットワークコードとして設定されている。
- 欧州各国では、以前はガス品質（熱量）が安定していたが、ロシア産ガスの流入増加や域内ガス田の産出減少に伴う供給元およびガスフローの変化、LNG輸入の増加など、近年は不安定化する傾向にある。加えて、将来のバイオガスや水素注入等を検討中のため、需要家向けガスの熱量安定化の必要性が認識されている（「入り口は広く、出口は狭く」）。

欧州の広域ＰＬでの調達



出所）Open Grid Europe提供資料

ガスフローの変化（イギリスの場合）



出所）National Grid提供資料

2．ガス導管の現状（英）

- イギリスでは、高圧導管事業者（TSO）としてNational Gridが、配給導管事業者（DSO）としてCadentやSGNなど4社が導管網を構築している。

イギリスの高圧導管網と注入点・貯蔵設備等



A map of the Gas National Transmission System (NTS)

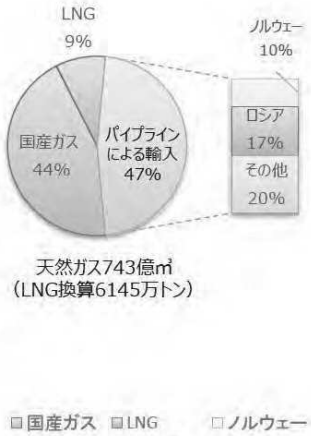
出所）National Grid 提供資料

イギリスの配給導管事業者とエリア



出所）
http://www.energynetworks.org/info/faqs/gas-distribution-map.htmlより作成

イギリスのガスソース構成比率（2017年）

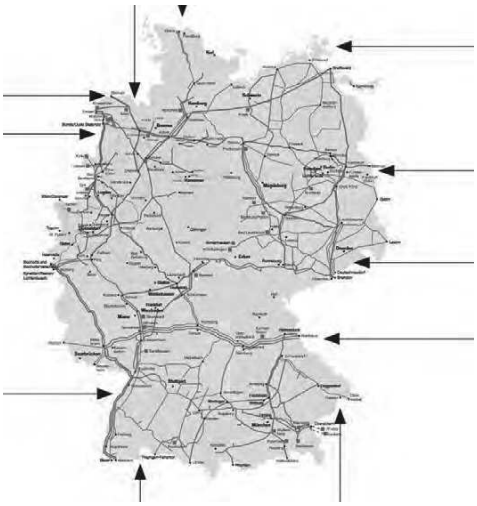


出所）British Gas

2．ガス導管の現状（独）

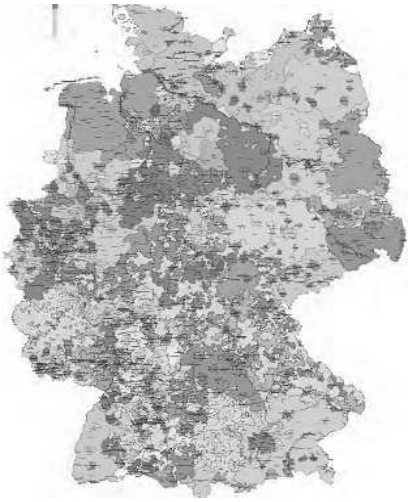
- ドイツでは高圧導管事業者（16社）と配給導管事業者（717社（含む10万顧客未満））が導管網を構築している。
- なお、ドイツでは、ロシアやノルウェー等からの高熱量（ハイカロリー）ガス導管とオランダからの低熱量（ローカロリー）ガス導管は別々に整備されているが、オランダの産出停止に伴い、低熱量導管のハイカロリー化に高い関心が置かれている。

ドイツの高圧導管網



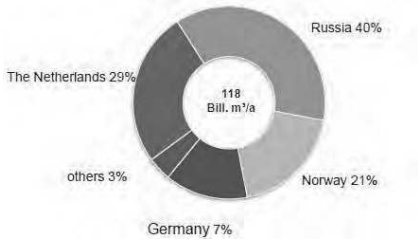
出所）BNetzA提供資料

ドイツの配給導管事業者とエリア



出所）BNetzA提供資料

ドイツのガスソース構成比率（2015年）



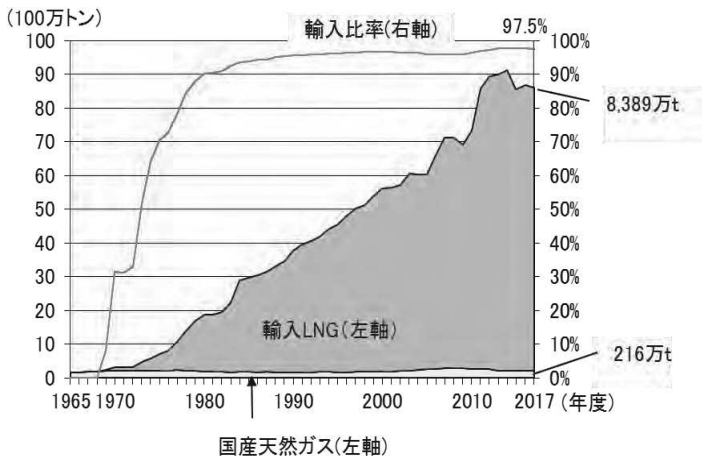
天然ガス1兆1800億㎥
（LNG換算9760万トン）

出所）Open Grid Europe提供資料

＜参考＞供給元の違い

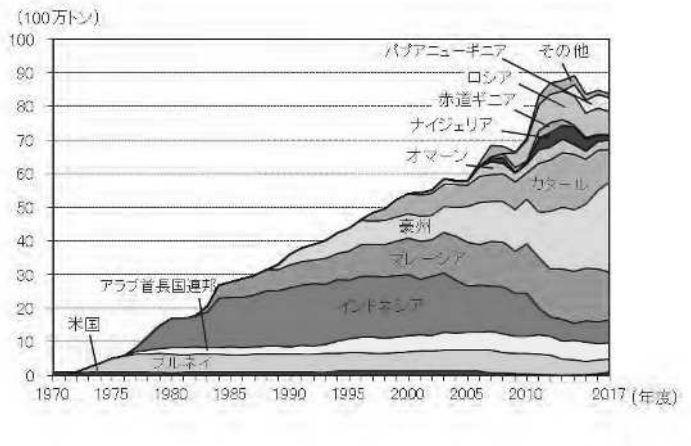
- 英独と比較して、日本はLNGへの依存度が高く、また、供給国が多様である。

天然ガスの国産、輸入別の供給量



出所）経済産業省「エネルギー生産・需給統計年報」、「電力調査統計月報」、財務省「日本貿易統計」、経済産業省「ガス事業統計月報」を基に作成

LNGの供給国別輸入量の推移

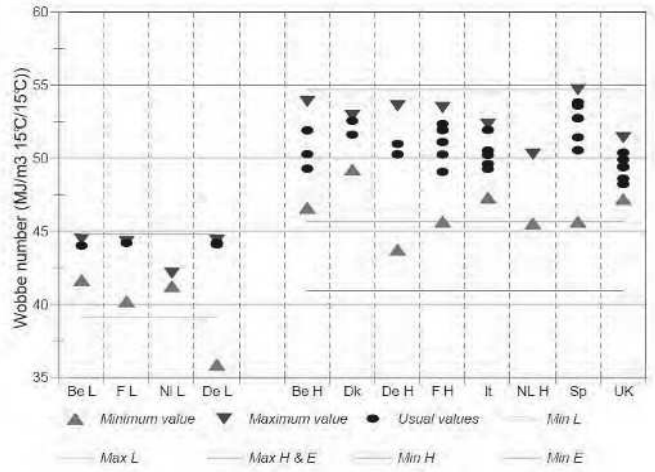


出所）財務省「日本貿易統計」を基に作成

3．熱量バンド制の基準と運用（入口は広く、出口は狭い品質変動幅で運用）

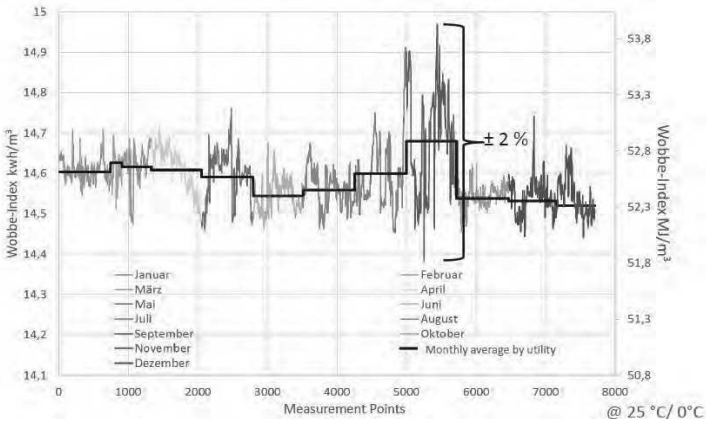
- 熱量幅は欧州標準で規定されており、TSO・DSOとも幅広いガスの流入を認めている。
- 運用実態としては、DSOレベルでのガス品質変動は比較的小さく、通常は±1%程度である。近年、±2%を超える品質変動が生じるようになっている。

欧州各国での受入ガス熱量幅



出所） [Schweitzer, 2012, 54頁]

ドイツ・エッセンでのガス熱量変動



出所）GWI Essen 提供資料

4．熱量変動の需要家への影響（独）

- ドイツでは、実機およびシミュレーションにより３年以上の歳月をかけてガス品質変動の影響調査を実施。
- 機器の安全性・効率性のみならず、各産業の製品品質への影響も調査。±2%以内の変動でも製品品質への影響が出ることが確認されている。また、工場作業者の労働環境にも影響を与えることが確認されている。

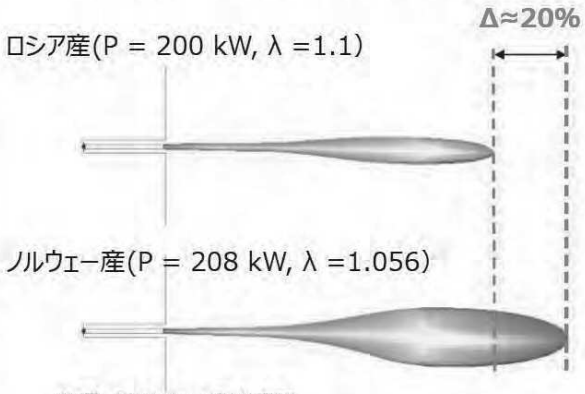
調査手法

- 産業界の要請によりガスに関する調査機関（ DVGW※1、GWI※2、DBI※3 ）が連携して調査を実施
- ガス使用機器や設備の賦存状況について調査
- ガス使用機器・設備の設置、調整、維持管理の実施について情報収集
- ガス品質変動の状況と影響について情報収集
- TSOにおけるガス品質変動の現状について情報取集
- 各主体へのインタビュー、シミュレーション、実験等を実施

結果についてのGWIの担当者からのコメント

- **過去は非常に安定的な品質**であり、**需要家はそれに慣れている**
- **問題は変動**であり安定していれば問題ない
- **産業ユーザーが地元のガスに合わせる必要**がある
- 大手は技術者がいるが**中小企業にとって対応が難しい**
- **浸炭目的の一部ユーザーは安定性を重視しLPGに切り替え**ている。
- **日本はエントリーポイントが限られるため、熱量調整が容易**

ロシア産ガスからノルウェー産ガスへ切り替わることによるバーナーの炎の長さの変化



出所）GWI Essen提供資料

※1）DVGW : Deutscher Verein des Gas – und Wasserfaches e.V.
※2）GWI : DAS Energie-Institute in Essen
※3）DBI : DBI Gas und Umwelttechnik GmbH

＜参考＞需要家影響の調査（独）

- ガス品質変動を「効率性」、「安全性」、「製品品質」の３つの視点で評価。その結果、±２%の変動でも効率性・製品品質に影響の可能性があるとされている。

産業	プロセス/応用		効率性				安全性（排出・熱過負荷）				品質			
			プロセスの調整値と比較したウォッベ指数または発熱量の変動											
			±2%	±4%	±5.5%	±7.5%	±2%	±4%	±5.5%	±7.5%	±2%	±4%	±5.5%	±7.5%
熱	暖房	光放射ヒーター	○	○	▲	×	○	○	▲	×	○	○	▲	▲
		赤外線放射ヒーター	○	○	▲	×	○	○	▲	×	○	○	▲	▲
		エアヒーター	○	▲	×	×	○	▲	×	×	○	▲	▲	×
	プロセス加熱	ボイラー/蒸気発生器	○	▲	▲	▲	○	▲	▲	×	○	▲	▲	×
		直接および間接乾燥	○	▲	▲	▲	○	▲	▲	×	○	▲	▲	×
発電		ガスタービン 拡散モード	○	○	▲	×	○	○	▲	×	○	▲	▲	×
		DLE モード	○	○	▲	×	○	×	×	×	○	▲	▲	×
		ガスエンジン	○	▲	×	×	○	×	×	×	○	▲	▲	×
金属		余熱（金属）	○	○	○	▲	○	▲	▲	×	○	○	○	▲
		熱化学的加熱処理	○	▲	▲	▲	○	○	○	▲	▲	×	×	×
		吸熱ガス製造	▲	×	×	×	○	○	○	▲	▲	×	×	×
		亜鉛メッキ	○	▲	×	×	○	○	○	○	▲	×	×	×
		溶融プロセス（非鉄金属）	○	▲	▲	×	○	▲	▲	×	▲	▲	▲	×
セラミック		焼成	○	○	○	▲	○	○	○	▲	○	○	○	▲
		レンガ・タイル産業	○	○	▲	▲	○	▲	▲	×	▲	×	×	×
		磁気	○	▲	▲	▲	○	▲	▲	×	▲	×	×	×
ガラス		ガラス容器	○	▲	▲	×	○	▲	▲	×	○	▲	▲	×
		板ガラス	○	▲	▲	×	○	▲	▲	×	▲	▲	▲	×
		特殊目的ガラス	▲	×	×	×	○	▲	▲	×	▲	×	×	×
		トンネル炉（連続過熱/冷却）	▲	▲	▲	×	○	▲	▲	×	▲	▲	▲	×
化学		プラスチック	○	▲	▲	×	○	▲	▲	×	○	▲	▲	×

○：影響なし ▲：影響の可能性がある ×：影響あり

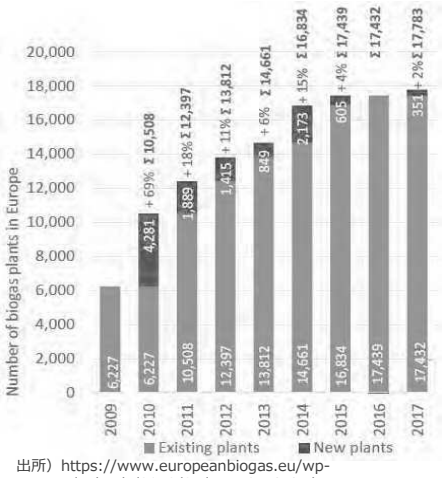
出所）GWI Essen提供資料

５．今後想定される需要家への影響

- 「①将来的な水素のガス導管への注入、②酪農等から得られるバイオガスの注入、③LNG比率の増加」による熱量変動によって更に需要家影響が拡大するとされている。
- 欧州では、バイオガスプラントの設置が増加傾向にあり、イギリスでは②バイオガスについて、LPGを添加し熱量調整を行っている。
- ドイツでは③LNGについて、フランス基地（エントリーポイント）からドイツに至るLNG影響も研究しており、4%程度まで品質変動が拡大していることを確認。

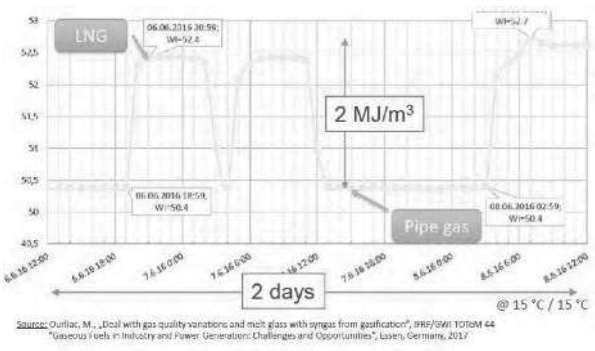
（参考）
欧州指令（Directive 2009/28/EC 、2018/2001/EU）で各国に対して再生可能エネルギーの導入目標を設定している。
この中でバイオガス、余剰再生可能エネルギーから製造した水素の活用が認められており、各国とも導入に取り組んでいる。

欧州のバイオガスプラントの設置数推移



出所）https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2019/05/EBA_Statistical-Report-2018_AbrigedPublic_web.pdf

フランスにおけるガス品質変動



出所）GWI Essen提供資料

6．需要家への課金と公平性の担保（英）①

- イギリスのDSOは、複数のLDZと呼ばれる配給ネットワークを運営しており（例：Cadentは4つのLDZを運営）、DSOの託送料金はLDZ単位で計算される。
- 託送料金は、LDZ単位で１種類であり、エントリーポイントの熱量の加重平均値を基に計算されている。
- 具体的には、計算方法としてFlow Weighted Average CV（加重平均熱量）が定められているが、この「加重平均熱量」と「エントリーポイントのうち最低熱量＋１MJ」を比較し、低い熱量を料金計算に用いることとされている（National Grid運用ルール）。
- このため、低熱量のバイオガスは、配給ネットワークへの注入の際に熱量調整が必要。

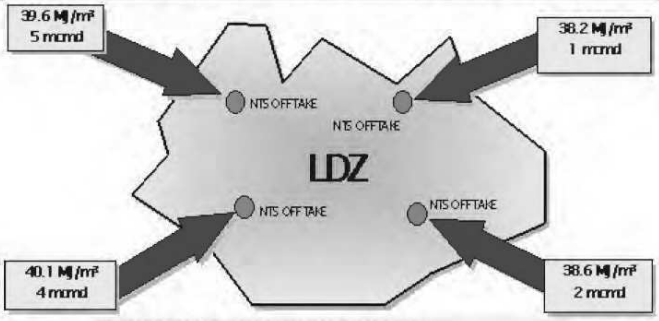
二層構造のイギリスのDSO



レイヤー構造

Distribution System Operators（DSO）
大ブリテン島で4つ

Local Distribution Zone（LDZ）
大ブリテン島で13ゾーン



■LDZ FLOW-WEIGHTED AVERAGE CV

$$= \frac{(39.6\times5)+(38.2\times2)+(38.6\times2)+(40.1\times4)}{(5+1+2+4)}$$

=39.5MJ/㎥

■エントリーポイントのうち最低熱量＋１MJ
=38.2＋1
=39.2MJ/㎥

⇒ **39.2MJ/㎥が料金計算に用いられる**

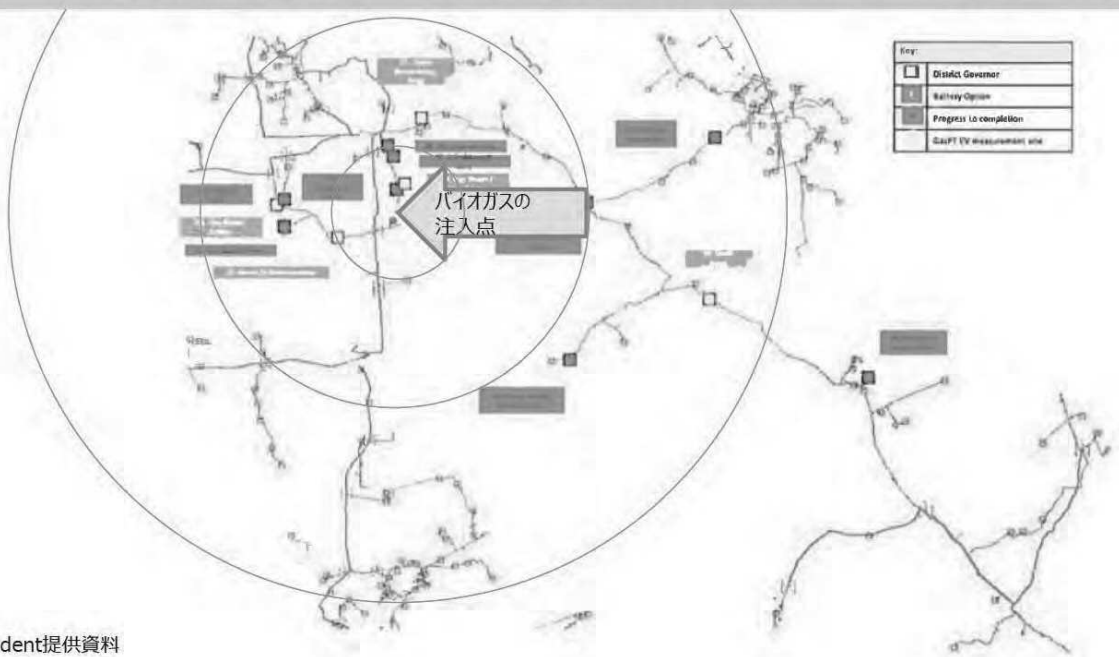
出所）National Grid資料

6．需要家の課金と公平性の担保（英）②

- イギリスでは、バイオガス注入ポイントの増加を見越し、課金をよりきめ細かく行うために、LDZを細分化するための研究開発が行われている※。

  ※検針回数が少ない（法律上は２年に１回、実際には半年～２年に１回程度）イギリスでは、実際の熱量と計算熱量の差が大きくなる可能性があるため、LDZの細分化を検討。

- 熱量計を注入点から同心円状に配置する必要があるが、設置コスト等の検討は未了。



出所）Cadent提供資料

７．まとめ（欧州と日本の違い）

- 欧州は、ガス田からつながる広域パイプライン網の形成、域内ガス田の産出減少、ロシア産ガスの供給途絶リスク対策（LNGの活用、西から東へのガス流）、統一市場の形成と活発なガス取引の促進等の流通環境のため、受け入れ地点である導管やLNG基地に熱量調整設備を有していない（一部、減熱設備や、バイオガス受入のLPG増熱設備を除く）。そのため、一部の需要家は熱量安定化のための対策が必要となっている。
- 日本の都市ガスの供給安定性はLNGの調達の多様性に依存しており、受け入れ地点であるLNG基地は既に熱量調整設備を備えているところが多数※である。日本は、熱量調整を行うことにより、多様なLNGの活用と安定した品質の都市ガス供給を両立させている。
  ※熱量調整設備を所有していない一部の新規参入者は熱量調整設備を所有する事業者へ熱量調整を委託

項目	欧州	日本
天然ガスの供給源の多様性	● パイプライン調達が中心であり、ロシア・ノルウェー・オランダ・アルジェリア産など、供給源が限定的。 ● 一部、LNG輸入を増加させる動きもあり。	● LNGが中心であり、一部国産天然ガスがパイプラインにより供給されている。 ● 輸入LNGの熱量幅は大きく、39MJ～46MJ程度の差がある。
安定供給への取組み	● 西側から拡大EU地域へガスを供給できるようにインフラ整備を行っている。	● LNGの輸入元の多様化。
需要家への供給熱量の安定化	● エントリーポイントが多いが、地域ごとに供給元が限定されており、需要点でのガス品質は安定していた。 ● 近年、ガス供給元の変化やバイオガス等の出現で需要点でのガス品質変動が課題認識されるようになっている。	● エントリーポイントである多くのLNG基地で熱量調整設備を有しているため、需要家への供給熱量は安定している。

45MJへの標準熱量引下げ対応について

2019年11月12日
東邦ガス株式会社

45MJへの標準熱量引下げ対応について（目次）

あしたがすてきに！
TOHO GAS

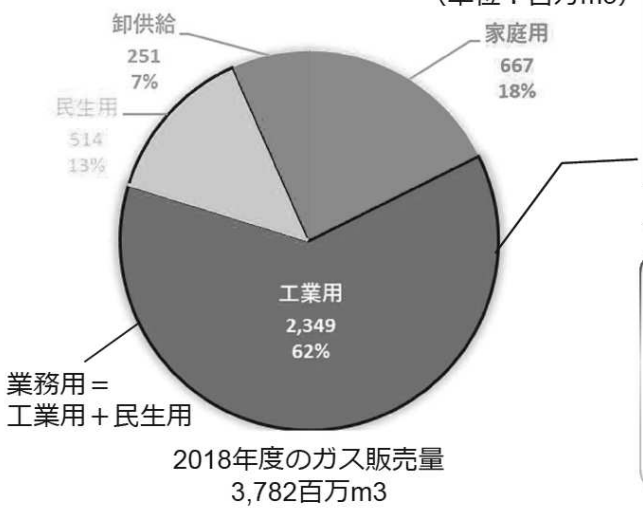
１．東邦ガスについて
２．標準熱量引下げの概要
３．事前検討
４．実地対応

1.東邦ガスについて

- 当社の供給エリアは東海3県（愛知県、岐阜県、三重県）で、お客さま数（取り付けメーター数）は、2018年度末で約246万件、ガス販売量は、2018年度実績で約38億立方メートル。
- **輸送用機械や鉄鋼・金属等の分野を中心に製造業が集積している地区**のため、**ガス販売量の8割弱を業務用分野が占めている**ことが特徴。

＜都市ガス販売量の内訳＞

（単位：百万m3）



2018年度のガス販売量
3,782百万m3

- 業務用分野のガス販売量は工業用と民生用（商業用他）で構成。
- 輸送用機械や鉄鋼・金属分野の需要は工業用分野に属しており、工業炉、コージェネレーション、GHP、ボイラ等のガス設備が使用されている。

＜会社概要＞ ※2019年3月末時点

設立	1922年（大正11年）	
資本金	330億 7,200万円	
従業員数	単独 2,759名	連結5,799名
売上高	単独 3,650億円	連結4,612億円

2.標準熱量引下げの概要ー2015年9月1日に実施

- 都市ガスの主な原料である液化天然ガス（ＬＮＧ）の調達先多様化への対応と増熱用LPG量の低減を目的に、標準熱量の引下げに係る検討を開始。
- 数年間の事前検討期間を経て、2011年度下期に標準熱量引下げの実施決定。
- お客さま先での品質確認試験や消費機器の改造・調整を経て、**2015年9月1日に46.04655MJ/m3から45MJ/m3（約▲1MJ）へ標準熱量引下げを実施。**

標準熱量引下げ当日までの流れ

～2011	’12	’13	’14	’15
2011年度下期 引下げの実施決定 ★				**2015年9月 引下げ実施** ◆
事前検討 ・自社設備への影響調査 ・消費機器への影響調査	**実地対応** ・お客さま製品の品質確認試験 ・消費機器の改造・調整			

3.事前検討ー①消費機器影響に係る調査を重点的に実施

■ 標準熱量引下げの実施決定にあたっては、**原料調達や製造・供給設備、消費機器への影響調査等、多岐に渡り検討を実施**。

■ 消費機器については、特にお客さまの安全性等に及ぼす影響が大きいため、メーカーと連携して、**調整・改造が必要な機器を洗い出す等、重点的に影響調査を行った**。

標準熱量引下げ検討項目と内容

主な検討項目	内容
原料調達への影響	• ＬＮＧ使用量増、ＬＰＧ使用量減の影響検討、配船調整
製造設備への影響	• 制御システム改造検討、熱調設備等の設備計画への影響検討
供給設備への影響	• 導管余力の確認、導管建設計画への影響検討 • ガスの置換シミュレーション • 高層マンション等の昇圧防止装置への影響検討
消費機器への影響	• **同業他社やメーカーへのヒアリング** • **調整・改造が必要な消費機器の洗い出し及び概算費用の算出** • **燃焼試験による技術データを収集**
卸供給先への影響	• 上記について卸供給先での影響を検討

3.事前検討ー②家庭用ガス機器における事前検討の結果

■ 家庭用のガス機器は、今回の熱量引下げは46.04655MJ/m3から45MJ/m3への引下げであるため、引き続きガスグループ13A※の範囲内となり、**個別対応は不要と判断**。

■ ただし、エネファームに関しては、ガスの組成が機器の稼働に影響する懸念があったため、メーカーへのヒアリングも行ったうえで、個別対応の要否を判断。

※ 都市ガスは燃焼速度指数とウォッベ指数の組み合わせにより13A・12A・6A・5C・L1・L2・L3の7グループに分類されており、13Aは燃焼速度が35cm/s以上47cm/s以下であってウォッベ指数が52.7を超え57.8以下のガス。

家庭用ガス機器の検討結果

機器	個別調整	判断根拠
ガスコンロ	不要	・当社のお客さまが使用している家庭用ガス機器は13Ａ仕様となるため、45ＭＪへの熱量引き下げであれば、対応可能な範囲。 ・イレギュラーなガス機器がないことを確認したうえで、標準熱量引下げに伴う個別対応は不要と判断。
給湯器	不要	
エコウィル（家庭用コージェネ）	不要	
エネファーム（燃料電池）	不要	・都市ガスを改質して使用するため、メーカーにヒアリングを行い、標準熱量で45ＭＪまでの引き下げであれば、対応可能な範囲と回答を得たため、個別対応は不要と判断。

3.事前検討ー③業務用ガス機器における事前検討の結果

- 業務用ガス機器は、ボイラやガス吸収式冷温水機、厨房設備はメーカーへのヒアリング等により対応の可否を確認したうえで、個別対応は不要と判断。
- 一方で、**工業炉やコージェネレーションシステム、GHPに関しては、標準熱量引下げによる影響が懸念されたため、個別対応が必要と判断**。

業務用ガス機器の検討結果

機器	個別調整	判断根拠
ボイラ	不要	・ボイラやガス吸収式冷温水機は、標準熱量引下げによる影響が懸念されたため、メーカーへのヒアリングを実施し、個別対応は不要と判断。 ・厨房設備は基本的に13A仕様のため、個別対応は不要と判断。
ガス吸収式冷温水機	不要	
厨房設備	不要	
工業炉	一部要	・工業炉はお客さまごとに仕様や使用状況が異なり、製品品質への影響も懸念されたことから、一部では個別対応が必要と判断。 ・コージェネやGHPの一部では、標準熱量引下げによる出力不足等が懸念されたため、個別対応が必要と判断。
コージェネ	一部要	
GHP	一部要	

3.事前検討ー④業務用ガス機器における個別の影響調査

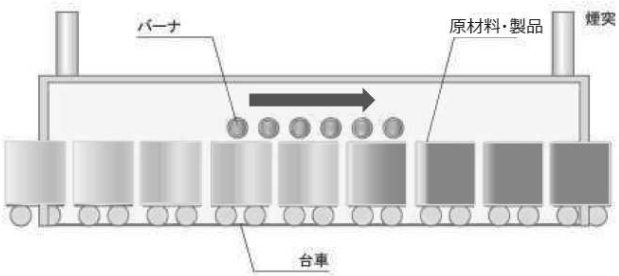
- 標準熱量引下げに際して、主に業務用にて使用されている工業炉・コージェネ・GHPの一部で影響が懸念されたため、各々対応策を構築して対応を実施。
- また、お客さまからは、標準熱量引下げによる製品品質への懸念の声があがった。特に**お客さま毎に設備仕様や使用状況が異なる工業炉については、個別に影響調査を実施**。

標準熱量引下げに伴い影響が懸念される消費機器と対応策

消費機器	主な懸念点	対応策
工業炉	**熱量・組成変動に伴う製品不良**	**品質確認試験、改造・調整**
コージェネ	熱量変動に伴うノッキング、出力不足、NOx増	改造・調整
GHP	熱量変動に伴う失火、出力不足	部品交換、運転調整

工業炉の例（加熱炉）

加熱炉は、耐火材・断熱材で覆われた空間で原材料・製品を加熱するための装置

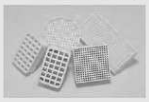




3.事前検討ー⑤熱処理炉への影響

- 工業炉は、主に原材料を溶かす「溶解炉」、食品加工や陶磁器等の焼成をする「加熱炉」、金属の強度や耐腐食性など必要な性質を持たせる「熱処理炉」の３種類がある。
- 中でも、**熱処理炉では標準熱量引下げに伴い、製品品質への影響が懸念された。**
- なお、当社のお客さまの熱処理炉の保有数は、中小企業も含め約1,800台。

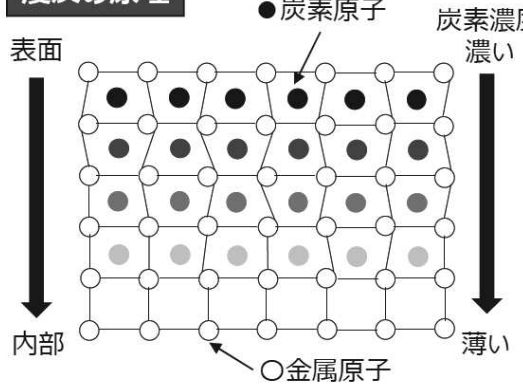
主な工業炉の種類と製品例

種類	概要	製品例
溶解炉	• 都市ガスを燃焼させ、金属・ガラス等の原材料を溶解し、鋳造・成形する	エンジンブロック  ガラス（自動車用ガラス） 
加熱炉	• 都市ガスを燃焼させ、食品の加工や陶磁器等の焼成を行う	パン  排ガス浄化装置 
熱処理炉	• **都市ガスを原材料に使用するなど、金属の強度や耐腐食性といった必要な性質を持たせる**	ギア  シャフト 

3.事前検討ー⑥都市ガスを原材料として使用する変成炉・浸炭炉への影響

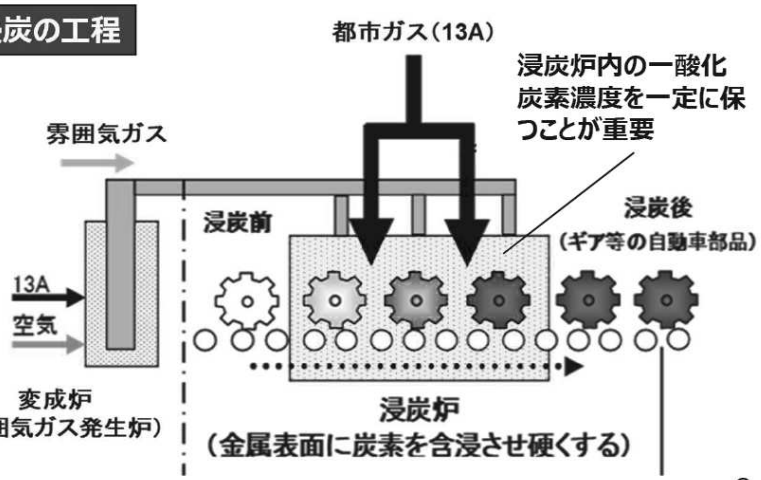
- 熱処理炉のうち、変成炉・浸炭炉では、**炭素分（C）を金属の表面に組込み表面層の硬化を行う工程（浸炭加工）**がある。
- この工程は**変成炉にて都市ガスから浸炭加工を行う際に必要となる一酸化炭素（CO）を含むガス（雰囲気ガス）を発生させ、浸炭炉にて変成炉で発生させた雰囲気ガスと都市ガスを利用して、浸炭加工を行っている。**
- 浸炭加工は炭素の量が少なすぎると耐摩耗性（硬さ）を失い、多すぎると靭性（粘り強さ）を失うことから、**浸炭炉内の一酸化炭素濃度を一定に保つことが重要。**

浸炭の原理



格子状の配列の金属原子の隙間に炭素が入り込むことで硬化し、耐摩耗性・靭性ともに向上

浸炭の工程



4.実地対応ー①変成炉・浸炭炉を保有するお客さまへの対応例

- **都市ガスを原材料として使用する変成炉・浸炭炉では、ギア・シャフト等の自動車部品も製造されており、自動車会社等の承認による厳しい品質管理基準が定められている。**
- 熱量引下げに伴い、都市ガスの組成が変わると製造する自動車部品の品質が管理基準を逸脱する可能性があったため、サプライチェーン全体への影響を考慮し、慎重に対応。
- 具体的には、**お客さま先に45MJの試験用ガスを持ち込み品質確認試験を実施する等、十分に協議を行い調整・改造方針を決定**。また、お客さま先の設備の改造・調整に際しては、操業に影響を与えないよう、**設備稼働を停止できる年末・年始等の期間を利用して、1件1件慎重かつ確実に実施。**

お客さま対応のイメージ



燃焼確認試験

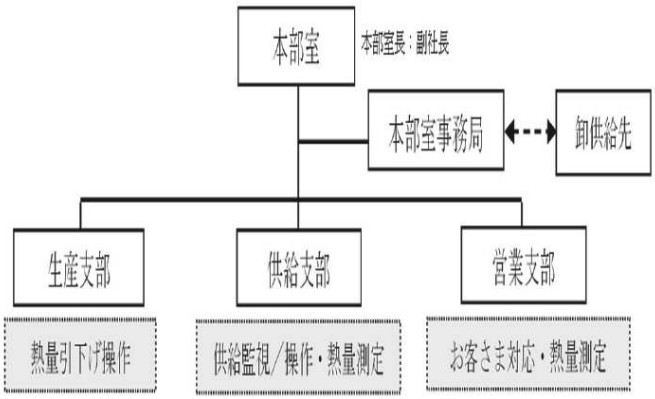


お客さま設備の改造・調整作業

4.実地対応ー②標準熱量引下げ実施日の対応

- 標準熱量引下げ実施日は、対策本部を設置し、お客さま先に専任対応者を配置。メーカーにもご協力いただき、24時間体制でお客さま対応およびガスの置換状況確認等を実施（卸先においても同様）。
- **急激な熱量変動による消費機器への影響が懸念されたため、2日間かけて徐々に熱量の引下げ（▲1MJ/m3）を実施。**
- なお、**標準熱量の引下げ時以外は、安定した熱量のガスを供給。**

対策本部の体制



熱量引下げ前後での熱量幅の推移実績（日単位）



【参考1】標準熱量引下げ前後での都市ガスの組成例

■ 都市ガスの**熱量はメタンを中心とする炭化水素の割合で決まり、熱量変動が起きる場合、同時に炭化水素の割合の変動も起きる。**

■ なお、工業用のお客さまが都市ガスから炭素を取り出すなど、原材料として使用する場合、炭素量の変動が製品品質に影響を及ぼすおそれがある。

都市ガスの組成例

成分		化学式	46.04655 MJ/m³組成例	45 MJ/m³組成例
組成	メタン	CH_4	87.4%	89.2%
	エタン	C_2H_6	6.0%	6.0%
	プロパン	C_3H_8	5.5%	3.8%
	ブタン	C_4H_{10}	1.0%	1.0%
	窒素	N_2	0.1%	0.0%
計			100.0%	100.0%

【参考2】メタンによる変成炉・浸炭炉内の反応

■ **変成炉（雰囲気ガス発生装置）内の反応**　※下線部が雰囲気ガス

$CH_4 + 3/2\,(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow \underline{CO + 2H_2O + 5.64N_2}$

- 都市ガスと空気を反応させ、浸炭加工に利用する一酸化炭素（CO）を含む雰囲気ガスを発生させる。
- 都市ガスの組成が変動すると、雰囲気ガス中のCOのバランスが変わる懸念がある。

■ **浸炭炉内の反応**　※〔C〕は浸炭された炭素成分

・処理品の表面への浸炭の反応

$2CO \rightarrow [C] + CO_2$

$CO + H_2 \rightarrow [C] + H_2O$

$CH_4 \rightarrow [C] + 2H_2$

・浸炭炉内のガス中の副反応

$H_2 + CO_2 \rightarrow CO + H_2O$

$CH_4 + CO_2 \rightarrow 2CO + 2H_2$

$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$

- 浸炭炉内へ変成炉にて発生させた雰囲気ガスに都市ガスのメタンCH_4を加え、浸炭させる炭素（C）の量を調整し、浸炭加工を行う。また、浸炭加工後に発生したCO_2、H_2O、H_2と都市ガスのCH_4を反応させ、継続して一定のバランスで浸炭できるよう浸炭炉内のCOの量を調整する。
- 都市ガスの組成が変動すると、COの量を適切に制御できなくなる懸念がある。