

「高効率天然ガスハイドレート 製造利用システム技術実証研究」

事業原簿【公開】

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 エネルギー対策推進部 (旧省エネルギー技術開発部)
-----	---

—目次—

概要 プロジェクト用語集

I. 事業の位置付け・必要性について

- 1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性…………… I-1
 - 1.1 NEDOが関与することの意義…………… I-1
 - 1.2 実施の効果(費用対効果)…………… I-1
- 2. 事業の背景・目的・位置づけ…………… I-2

II. 研究開発マネジメントについて

- 1. 事業の目標…………… II-1
- 2. 事業の計画内容…………… II-1
 - 2.1 研究開発の内容…………… II-1
 - 2.2 研究開発の実施体制…………… II-2
 - 2.3 研究の運営管理…………… II-4
- 3. 情勢変化への対応…………… II-4
- 4. 中間評価結果への対応…………… II-4
- 5. 評価に関する事項…………… II-7

III. 研究開発成果について

- 1. 事業全体の成果…………… III-1
 - 1.1 開発成果概要…………… III-1
 - 1.2 開発成果…………… III-2
- 2. 研究開発項目毎の成果…………… III-7
 - 2.1 NGH 製造・出荷設備の開発…………… III-7
 - 2.2 NGH 配送・利用システムの開発…………… III-54
 - 2.3 適用法規・規則…………… III-83
 - 2.4 NGH 分解冷熱・分解水利用システムの構築…………… III-87

IV. 実用化、事業化の見通しについて

- 1. 成果の実用化可能性…………… IV-1
 - 1.1 実用化の見通し及び課題…………… IV-1
 - 1.2 産業技術としての適用可能性…………… IV-2
 - 1.3 技術的及び社会的波及効果…………… IV-3

2. 事業化までのシナリオ	IV-6
2.1 今後の技術開発スケジュール	IV-6
2.2 事業化方針	IV-7
2.3 継続研究	IV-8

(添付資料)

・イノベーションプログラム基本計画	添付資料- 1
・プロジェクト基本計画	添付資料-16
・技術戦略マップ(分野別技術ロードマップ)	添付資料-20
・事前評価関連資料(事前評価書、パブリックコメント募集の結果)	添付資料-22
・特許論文リスト	添付資料-27

概要

最終更新日 平成22年7月5日

プログラム（又は施策）名	エネルギーイノベーションプログラム 燃料技術開発プログラム					
プロジェクト名	高効率天然ガスハイドレート製造利用システム技術実証研究	プロジェクト番号	P06045			
担当推進部/担当者	省エネルギー技術開発部/ 主研 秋山信一（平成22年7月5日現在） 主査 山野拓美（平成22年7月5日現在） 主研 岡崎志朗（平成18年5月11日～平成19年9月30日） 主査 志保治和（平成18年5月11日～平成20年3月31日）					
0. 事業の概要	天然ガスパイプラインが整備されていない地域を対象に以下の開発を行う。 ①多成分系の混合ガスハイドレート製造技術開発 ②未利用冷熱利用によるNGH生成熱除去技術開発 ③高圧下で製造したNGHの連続冷却・脱圧技術開発 ④NGH配送・利用システムの開発					
I. 事業の位置付け・必要性について	エネルギー基本計画に「天然ガスシフトの加速を推進」が謳われている。 ガスハイドレート化技術を利用した天然ガス供給システムを確立し地方都市の中小規模需要者や簡易ガス事業者に対する新たな天然ガス供給手段を提供することが必要。					
II. 研究開発マネジメントについて						
事業の目標						
事業の計画内容	主な実施事項	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	
	NGH製造システム	_____	_____	_____	_____	
	配送システム	_____	_____	_____	_____	
	利用システム	_____	_____	_____	_____	
開発予算 （会計・勘定別に事業費の実績額を記載） （単位：百万円）	総合評価				_____	
	会計・勘定	H18	H19 予	H20 予	総額	
	一般会計					
	特別会計 （電多・高度化・石油の別）	141	570	271	0	982
	総予算額	141	570	271	0	982
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁ガス市場整備課				
	プロジェクトリーダー	三井造船(株) 天然ガスハイドレートプロジェクト室 室長 内田 和男氏				
	委託先（*委託先が管理法人の場合は参加企業数も記載）	中国電力株式会社 三井造船株式会社				
情勢変化への対応	ラボ実験の結果、脱水塔のコンパクト化（現状の1/4）、建設コスト減（10～15%減）及び製造動力の削減（20%）が可能であることから、キーとなる脱水技術について、①差圧に基づく脱水技術②ペレタイザーの脱水機能強化を検証するための、試験研究を追加し、実用化の加速を行う。 事業進捗の遅延の為、実施期間を3年間から4年間に変更					

III. 研究開発成果について	<p>全体成果：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) LNG 未利用冷熱を活用した 5 トン/日級 NGH 製造設備を開発・連続運転を実施し、NGH スラリー生成・NGH ペレット成型等が 5 トン日相当以上の能力を有することを確認した。 2) 既述設備の連続運転により、メタンの他、エタン・プロパン等を含んだ多成分混合ガスである天然ガス（LNG を気化して得られるガス）を原料として、原料ガスとほぼ同一の成分比率となる NGH が連続的に生成されることを確認した。 3) 既述設備の連続運転により、LNG 冷熱を中間冷媒（プロパン）及びブライン（エチレングリコール水溶液）により回収し、NGH 生成及び NGH ペレット例旧悪に有効活用されることを確認した。 4) 既述設備の長期連続運転（維持運転含む）として、NGH スラリー生成については、100 時間程度、NGH ペレット成型については、80 時間程度、また累計時間としては、スラリー生成 350 時間程度、ペレット成型 200 時間程度の運転を行い、設備安定性を確認した。 <p>個別テーマ毎の成果：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 多成分系混合ガスハイドレート製造技術開発 <ul style="list-style-type: none"> ・ NGH 製造出荷設備を開発し、試運転・実証運転を実施した。 ・ 脱水塔の加圧脱水方式で重力式に比べ 4 倍の脱水速度を確認した。 ・ ペレタイザの搾水排水機能を向上させ、ガス包蔵率が高い安定的なペレットの連続成型を確認した。 2) 未利用冷熱利用による NGH 生成熱除去技術開発 <ul style="list-style-type: none"> ・ LNG 未利用冷熱を中間冷媒及びブラインで回収し、NGH 製造設備における有効利用を確認した。 3) 高圧下で製造したペレットの連続冷却・脱圧技術開発 <ul style="list-style-type: none"> ・ マテリアルシートによる連続脱圧試験装置により、弁切替によるバッチ方式に比べ脱圧時の高圧ガスの低圧側への同伴量を 1/2 以下にできることを確認した。 4) NGH 配送・利用システムの開発 <ul style="list-style-type: none"> ・ NGH ペレット用ローリー（5 トン及び 7.5 トン積み）及び 200kg/基の縦型容器を開発、製作した。 ・ NGH ペレットを既述設備から約 100km の需要家サイトへ配送し、輸送時の安定性・N を確認した。 ・ 需要ガス量に応じて再ガス化量を制御する自動ガス供給ユニットを開発した。また、ガス化設備の設置にあたり、適用法規等の調査並びに関係官庁との調整を実施した。 ・ NGH の分解水及び分解水の持つ冷熱の利用方法について検討し、各利用システムの構築を行った。 	
	投稿論文	「査読付き」4 件、「その他」3 件
	特許	「出願済」21 件、「登録」8 件、「実施」6 件（うち国際出願 3 件）
IV. 実用化、事業化の見通しについて	<p>本実証研究により、世界で初めて自己保存状態のハイドレートペレットによる天然ガス輸送を実証し、産業規模での NGH による新たな天然ガス輸送事業の可能性が見出された。これにより、国内のパイプライン未整備地域への NGH を利用した天然ガス輸送事業への道が開かれたといえる。</p> <p>また、NGH は一般家庭用の都市ガスとしてのみならず、産業用燃料としても利用が可能である。現在重油等を利用している中小規模の需要家においても、NGH による天然ガスへの燃料シフトが可能で、地域の天然ガス普及を促進するものと期待される。</p> <p>さらに、NGH 技術は CO₂ 分離・貯蔵・輸送技術への適用、資源メタンハイドレート開発技術への適用等、幅広い産業技術としての適用も想定される。</p> <p>一方、NGH による天然ガス輸送を事業化するためには、投資経済性等を考慮すると数 100 トン～数 1,000 トン/日クラスの事業規模とする必要がある。このため、本実証研究（5 トン/日）と実用規模との中間に当たる 100 トン/日クラスのパイロットプロジェクトを実施し、商業的運用が可能であることを最終確認することが計画されている。</p>	
V. 評価に関する事項	事前評価	平成 17 年度実施 担当：総合科学技術会議 B ランク
	中間評価以降	平成 19 年度実施 自主中間評価 A ランク 平成 22 年度 事後評価実施予定
	作成時期	平成 18 年 3 月 制定

VI. 基本計画に関する事項	変更履歴	平成18年10月 改訂 ・委託先及びプロジェクトリーダー名を明記 ・開発内容を追記：脱水塔のコンパクト化、ペレタイザーの脱水機能高度化
		平成20年3月 改訂 ・イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂
		平成21年3月 改訂 ・事業進捗の遅延の為、実施期間を3年間から4年間に変更

プロジェクト用語集

1. プロジェクト用語

圧搾成型

脱水操作後の NGH は粉体状であるが、目標とする NGH 率に比して過剰の水が含まれている。この状態からさらに脱水するためには大きな力を必要とする。粉体状の NGH からの水分除去と成型を同時に行う操作をいう。

圧密層

NGH 粉体上に荷重をかけ、粒子間隙にある水又はガスを排出した状態の層をいう。荷重により粒子間隙の容積は変化する。

付臭強度

ガス事業法に基づいてガス供給を行う場合は、供給ガスを所定の臭気濃度にする必要がある。NGH 発生ガスは元来無臭なので、付臭操作によってガスがどの程度の臭気強度（濃度）であるかを評価する際に用いた値である。

ガス包蔵率

ペレットに含まれるガス量を、理論上ペレットに包蔵可能な量に対する割合で示したもの。NGH 率と同じになる。

ガス化

NGH を融解して、包蔵するガスを固体である NGH 中から気相へ出す操作をいう。

ハイベント

圧力の高い排気を放出管へ送る操作、または放出管へ送られるガスをいう。

過冷却度

温度、圧力によって定まる NGH 生成平衡温度に比べて、どの程度低い温度であるかを示す。NGH 生成平衡温度より低い温度において NGH が生成する。

マテリアルシール

スラリー等の移動物を利用して、その前後に圧力差をつける方法。本プロジェクトの KP 装置ではホッパー部の NGH 粉体をスクリューで移動させることで成型部に常に圧力を掛け続けることをいう。連続脱圧装置では、粒子濃度の高い圧密層を連続的に形成することにより、圧密層を気体が通過するための圧力差が大きくなることでガスシールを行う。

燃費

ペレットを製造設備（柳井）から需要家（東広島、海田）へ輸送する際のローリー車あるいはユニック車の燃費

オドロメータ法（官能法）

ガスの臭いの強さを人の嗅覚によって判定する方法である。4名以上のパネルで実施し、付臭ガスを徐々に希釈し、各パネルが臭いを感じなくなる希釈倍率を評価してその平均を臭気強度とする方法である。

ペレット

NGH の貯蔵安定性、搬送性を向上させるため NGH 粉末をロール成型によりペレット化(22×18×13mm)したもの。

パイロットプロジェクト

現在、三井造船(株)及び NGH ジャパン(株)で計画中の商用プラント（陸上輸送：500 トン/日級、

海上輸送：6,000 トン/日級) への最後の技術開発フェーズにあたるプロジェクトで、本プロジェクトの成果を活かすと共に主要な機器を高速・コンパクト化して、100 トン/日級の規模の実証プロジェクトを計画している。

粒子間相互作用力

粉体の付着力、凝集力をいう。

シムプレート

金属製の薄板で、固定する固体間に挟むことで、所定の隙間を確保するスペーサである。

スラリー

細かい固体粒子が液体に分散している状態の混合物をいい、本プロジェクトでは NGH 粒子と水との混合物を指す。

チークプレート

NGH ペレットを成型するロールの軸方向の端面にある金属製の板で、供給されるパウダーを両側から押さえる役割がある。

トグルスイッチ

スライドスイッチの一種、操作者が手を離しても、その位置を保持する。

ウォッベ指数

ガスの単位体積あたりの発熱量をガスの比重の平方根で除したものであり、ガスの熱量およびガス器具での燃焼性を表す指標となる。

輸送チェーン

天然ガスを NGH ペレット化した後、陸上もしくは海上輸送し、それらを貯蔵・ガス化する一連のサプライチェーンの意。バリューチェーンということもある。

ガスバッファ

ガス発生量とガス消費量の差を和らげるために、タンク内でガスを保有することである。

Daily Start and Stop

設備を毎日、起動・停止する設備の運用形式である。需要がある昼間は設備を運転し、需要がない、もしくは少ない夜間は停止する運用となる。

LNG未利用冷熱

LNG を気体の天然ガス (NG) に戻す際に発生する冷熱は貴重なエネルギーであり、これを有効に利用することが望まれている。本プロジェクトではこの未利用冷熱を利用して、NGH 生成やペレット冷却を行う。

NGH率

水と NGH の合計重量に占める NGH の重量割合を示す。NGH 率 75%の場合、含まれる天然ガス重量割合は 10.7wt%となる。

NGHベッド

脱水塔の中を移動する NGH 層。脱水塔の下端では NGH 率 10%のスラリーで、上昇中に水分がろ過されて、上端では NGH 率 40%となる。

NGH生成平衡温度

ある圧力において、原料であるガスと水 (または氷) および NGH の三相が共存できる上限の温度。NGH 三相平衡温度ともいう。

2. 略語

BOG (Boil Off Gas)

LNG が外気からの入熱などによって液体からガスとなった天然ガス。発電所に戻される。

BR (Brine)

凍結防止剤であるエチレングリコール水溶液による冷熱循環系。REF 系と設備機器間をポンプ循環して利用しており、 -30°C と 0°C の2系統ある。

CNG (Compressed Natural Gas)

圧縮天然ガス

ITV (Industrial TeleVision)

工業用カメラ。機器内部の監視用カメラとして使用する。

LNG (Liquefied Natural Gas)

液化天然ガス

NGH (Natural Gas Hydrate)

天然ガスハイドレート。水分子と天然ガス分子が一定の温度、圧力条件下で結合した固体状の包接水和物。本プロジェクトでは水和数 6.19 を用いており、この場合の NGH 中の天然ガスの割合は 14.3wt%となる。

NGH-FPSO

NGH-Floating, Production, Storage & Offloading system (浮体式洋上生産貯蔵積出設備) の略語で、海上のガス井戸元で NGH を洋上製造し、貯蔵したのち、シャトル船へと払い出す設備のこと。三井造船(株)及び NGH ジャパン(株)が将来の商業プロジェクトとして検討を進めている。

NG (Natural Gas)

天然ガス

REF(Refrigerant)

プロパンによる冷熱循環系。LNG 冷熱を BR 系にシフトするためにポンプ循環して利用しており、 -35°C と -15°C の2系統ある。

I. 事業の位置付け・必要性について

1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

1.1 NEDO が関与することの意義

エネルギー基本計画に天然ガスシフトの加速を推進することが謳われており、総合資源エネルギー調査会「2030年のエネルギー需給展望」では、一次エネルギー供給量に占める天然ガスの割合を約14%(2000年)から16%と想定している。

また、図I. 1に示すエネルギーイノベーションプログラムにおいても、天然ガスを環境適合性、調達源の多様性の観点から積極的に導入すべきエネルギーとされている。

本実証研究は、天然ガスハイドレート（以下、NGHと言う）を利用して、天然ガス供給手段の無い地方都市への天然ガス供給を可能とするためのもので、エネルギー基本計画、エネルギーイノベーションプログラムで謳う天然ガスシフトの加速化という国家施策の推進に大きな意味を持っている。

一方、図I. 2にも示すとおり、NGH製造利用技術の実証は国内外を含め初のものであり、実機の百分の一スケールの実証試験であるが、総額15億円と巨額の費用を要する。更に大規模の実証研究や実機建設（図I. 3参照）には数百億円規模の投資が必要なため、未形成市場に対する投資額としてはリスクが大きい。

これらより、本実証研究はNEDOとして関与すべき技術開発である。

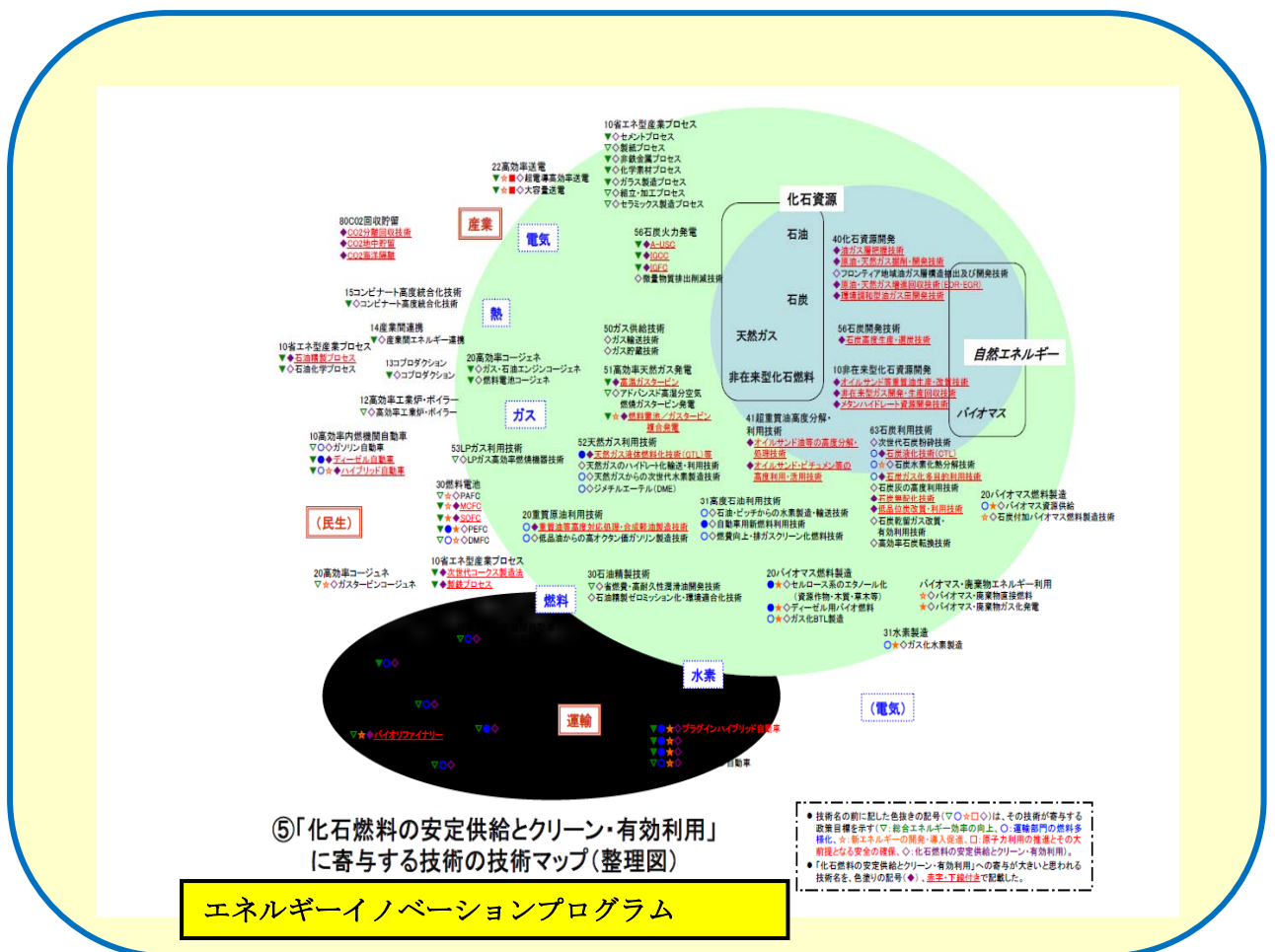


図 I - 1 エネルギーイノベーションプログラム



図 I - 2 NGHに関する国内外の研究開発状況

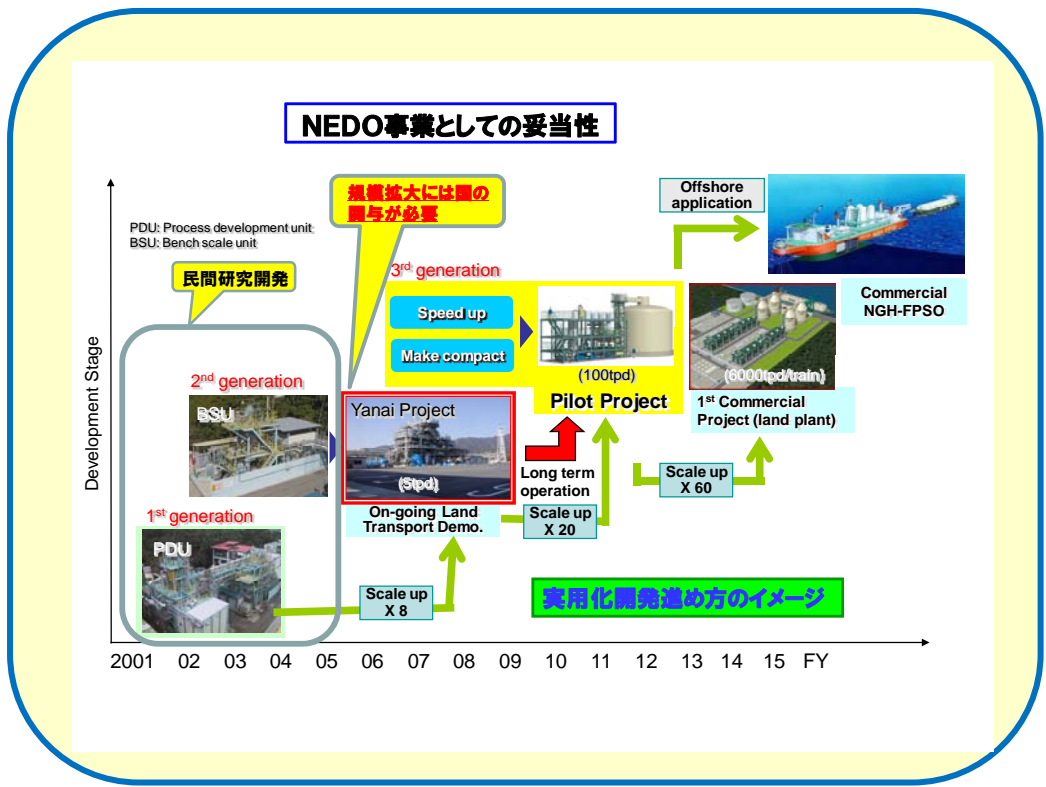


図 I . 3 NGH実用化開発・事業化の進め方のイメージ

1.2 実施の効果(費用対効果)

広域供給パイプラインの形成を促進することにより、我が国における天然ガスの面的利用が広がるとともに天然ガス市場の活性化に資するものである。

また、国内外を問わず、パイプライン等のインフラ整備が期待できない地域においても、環境規制を背景に需要家の天然ガスニーズは高まる一方の状況において、産業分野における中小規模需要家や簡易ガス事業への供給が可能となり得るNGH供給システム実証試験によってこれら需要家ニーズに対応するための供給体制の整備が促進される。

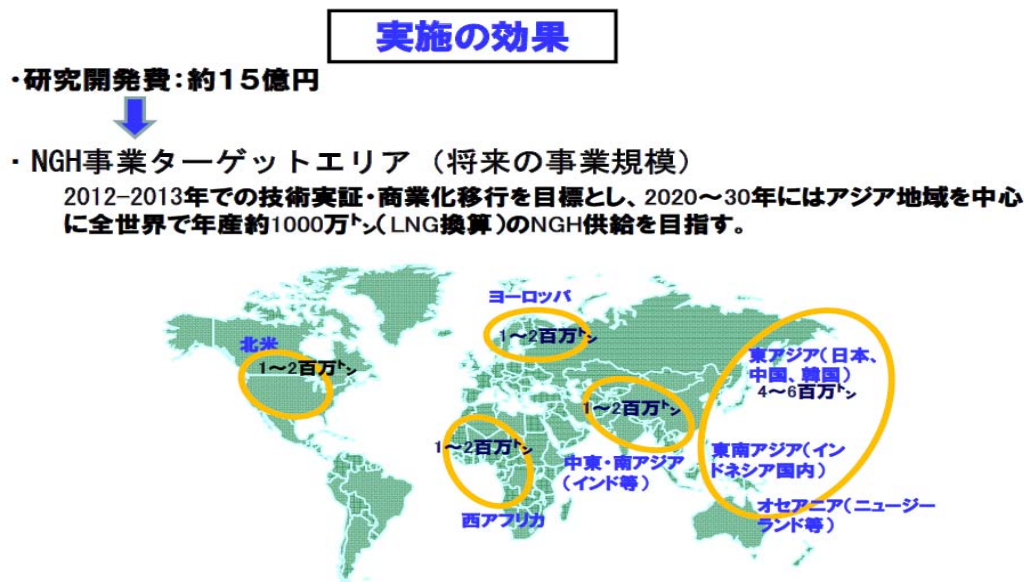


図 I. 4 グローバルなNGH事業普及構想

2. 事業の背景・目的・位置づけ

【背景】

エネルギー基本計画に《天然ガスシフトの加速を推進》が謳われており、総合資源エネルギー調査会「2030年のエネルギー需給展望」では、一次エネルギー供給量に占める天然ガスの割合を約14%(2000年)から16%と想定。

天然ガスパイプラインは大都市などの需要地を中心とした放射状に伸びており、広域パイプラインは連結されていない。そのため、地方都市の中小規模需要や簡易ガス事業者に対する供給手段は現在確立されていない。

【目的】

ガスハイドレート化技術を利用した天然ガス供給システムを確立し地方都市の中小規模需要者や簡易ガス事業者に対する新たな天然ガス供給手段を提供することを目的とする。

天然ガス輸送手段の多様性

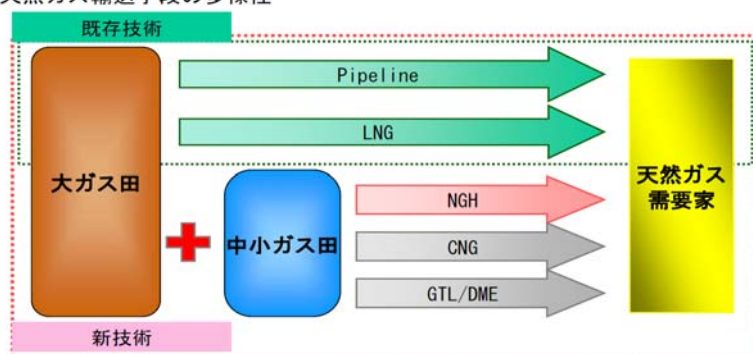
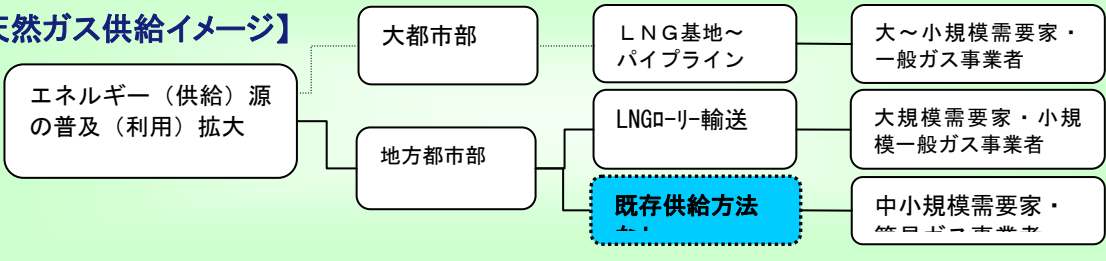


図 I. 5 天然ガス供給手段

【天然ガス供給イメージ】



	NGH	LNG
輸送貯蔵形態	固体	液体
製造温度	0～10℃	-162℃
貯蔵輸送温度	-20℃	-162℃
1m3中成分	天然ガス:170Nm3 水:0.8Nm3	天然ガス600m3

図 I. 6 NGHによる天然ガス供給のイメージ

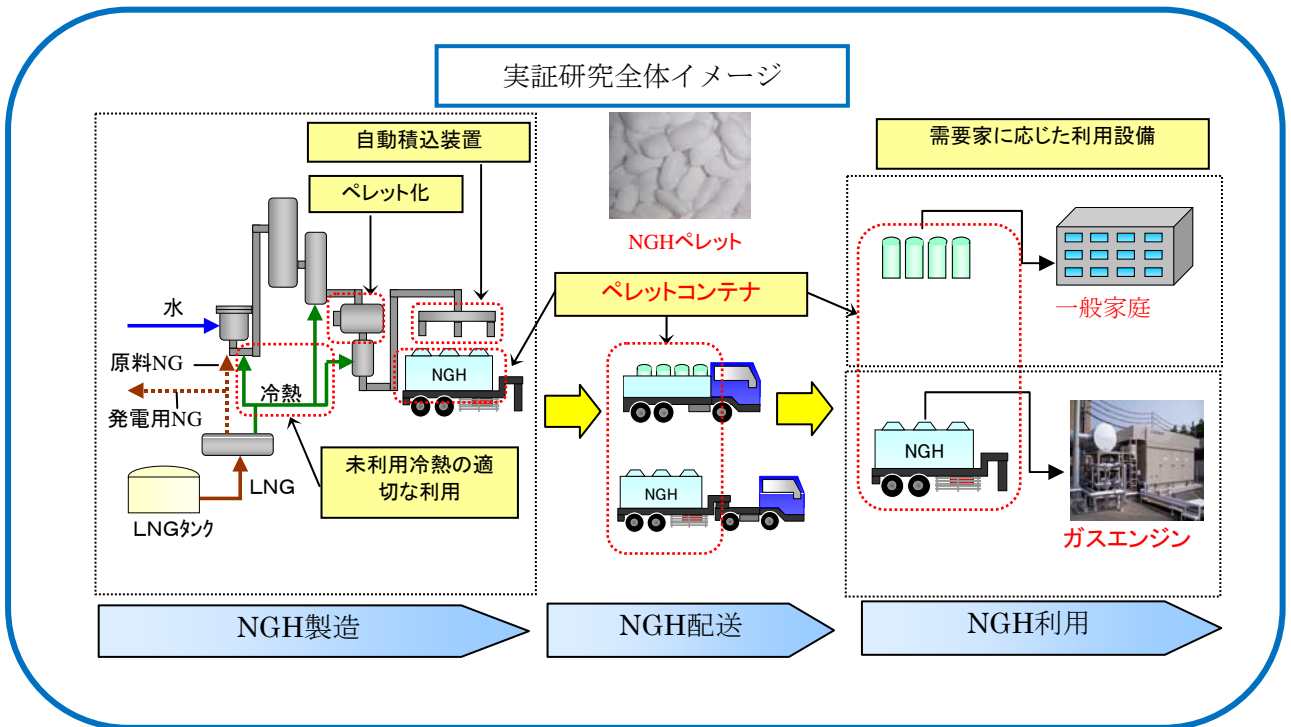


図 I. 7 実証研究全体のイメージ

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

- ・ LNG 基地において LNG を原料とした、製造エネルギー原単位の少ない NGH 製造プラントの開発
- ・ 輸送距離 100km 程度の NGH 陸上輸送に供する低コストな NGH 輸送・貯蔵システムの開発
- ・ 中小需要家における NGH による安定ガス供給および冷熱供給システムの開発

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

①多成分系の混合ガスハイドレート製造技術開発

単一成分（メタン）のガスハイドレート製造については、既に実験室レベルで成功しているが、本開発ではメタンのほか、エタン・プロパン等を含んだ多成分混合ガスである天然ガスを用いて、ガスとほぼ同一成分比率となるハイドレートを連続的・長期に製造する装置を開発する。

また、脱水塔のコンパクト化を目的として差圧等の脱水駆動力を付加した新しい脱水塔を開発するとともに、ペレタイザーの脱水機能の高度化を目的として、ペレタイザーへの高含水率 NGH 供給装置を開発する。

②未利用冷熱利用による NGH 生成熱除去技術開発

LNG 未利用冷熱を利用して連続生成するため、LNG 冷熱により凝縮・過冷却する中間冷媒を用いた NGH 製造冷熱源供給システムを開発する。

③高圧下で製造した NGH の連続冷却・脱圧技術開発

高圧で生成した NGH を大気圧下に取り出す際、従来は切替弁によるバッチシステムが用いられているが、高速処理を要求される実用プラントには適さず、このため、本開発では固気混相流を連続脱圧するシステムを開発する。

④NGH 配送・利用システムの開発

陸上輸送及び需要地での一次貯蔵が可能な車載型 NGH 輸送・貯蔵・再ガス化容器を開発する。

また、NGH 製造能力相当の産業用コージェネレーション及び数十戸程度の一般家庭への天然ガス供給を前提に、負荷応答性の優れた NGH 再ガス化制御システムを開発する。

実証研究全体スケジュール

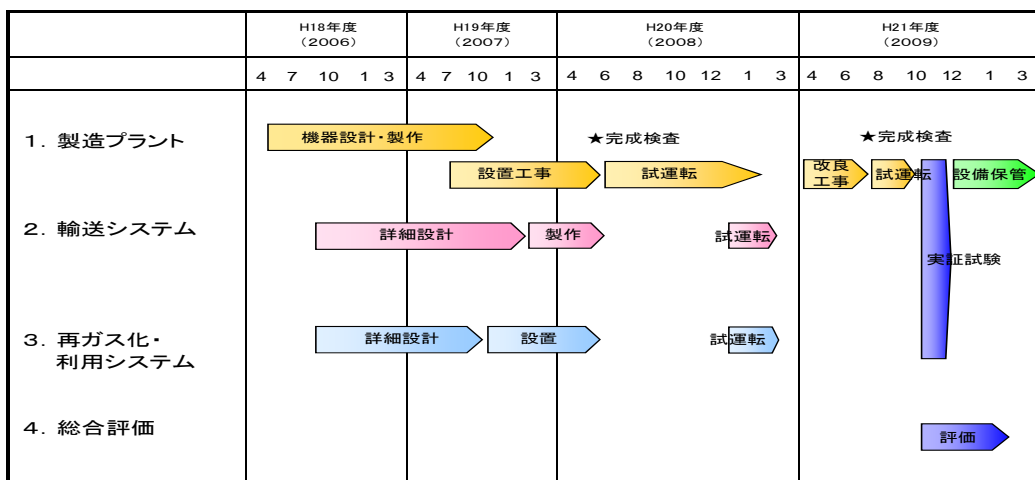


図 I. 8 実証研究全体スケジュール

2.2 研究開発の実施体制

本研究開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO 技術開発機構」という。）が、中国電力株式会社と三井造船株式会社の両者と共同研究契約を結んで、委託（NEDO技術開発機構 負担分 2/3：共同研究）により実施する。

共同研究開発等に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により、効率的な研究開発の推進を図る観点から、研究体にはNEDO 技術開発機構が三井造船株式会社 天然ガスハイドレートプロジェクト室 主管 内田 和男氏を研究開発責任者（以下「プロジェクトリーダー」という。）に指名し、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。

「高効率天然ガスハイドレート製造利用システム技術実証研究」実施体制（案）
 ・実施期間：4年（平成18～21年度）

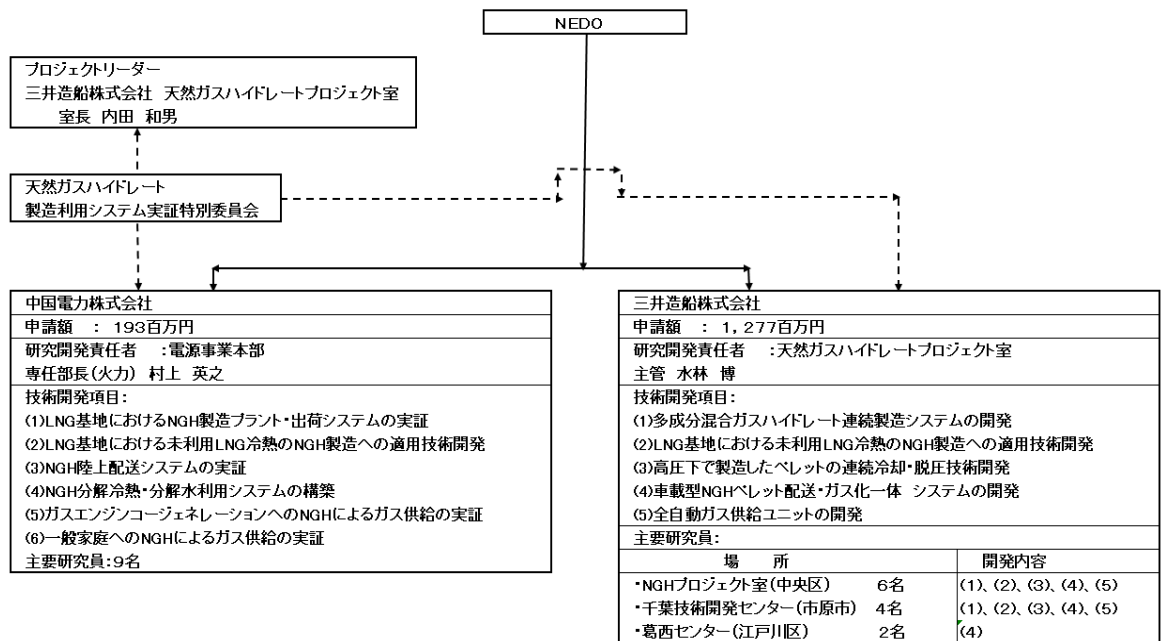


図 I. 9 実証研究実施体制

2.3 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO 技術開発機構は、経済産業省及びプロジェクトリーダーと密接な関係を維持しつつ、本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、委託先に設置する特別委員会において、外部有識者の意見を反映させる他、四半期に一回程度、プロジェクトリーダーから本研究開発の進捗について報告を受け、運営管理に反映させるものとする。

事業 2 年目終了時に特別委員会による中間評価を実施し、A ランク評価（総合評価 三井造船：2.6、中国電力：2.6）を得て、3 年目への継続が承認された。

表 I. 1 NGH 製造利用システム技術実証研究特別委員会委員構成

氏名	所属・役職		
森康彦	委員長	慶應義塾大学	理工学部機械工学科 教授
大村亮	同		理工学部機械工学科 専任講師
内田努		北海道大学	大学院工学研究科応用物理学専攻凝縮物理学講座生物物理工学研究室 助教授
奥井智治		東京ガス（株）	原料部原料企画グループ 課長
小野崎正樹		（財）エネルギー総合工学研究所	プロジェクト試験研究部

3. 情勢変化への対応

3.1 加速・差圧による新脱水塔開発及びペレタイザーの脱水機能の高度化

実証研究装置の仕様決定のための調査・ラボ実験の結果、①重力式脱水装置に差圧を加えることにより装置のコンパクト化が可能であり、②ペレタイザーに脱水機能を付加することにより NGH の二次生成器を省略可能と判った。

試設計によると、脱水塔のコンパクト化（現状の 1/4）、建設コスト減（10～15%減）及び製造動力の削減（20%）が可能であることから、キーとなる脱水技術について、①差圧に基づく脱水技術②ペレタイザーの脱水機能強化を検証するための、試験研究を追加し、実用化の加速を行う。

NGH 製造時の脱水・成型に関する技術分野においては、世界的に見ても有力な技術が確立されておらず、本技術開発により、国際的な優位性の確立が期待される。

- ・ NGH 製造設備実用化時に、機器数の低減および脱水塔のコンパクト化（現状の 1/4 程度）により、省スペース化および 10～15%の建設コスト低減が可能。
- ・ プロセスのシンプル化により、循環ガスブロワなどの機械駆動動力を削減し、20%程度の省エネルギーが可能。

3.2 事業進捗の遅延の為、実施期間を 3 年間から 4 年間に変更

本実証研究については、当初、平成 18 年度から平成 20 年度の 3 ヶ年（1 年目設計、2 年目建設、3 年目試運転・実証）で計画し、平成 19 年度までの 2 年間は、順調に推移した。最終年度である平成 20 年度に、柳井発電所内に建設した LNG 冷熱利用 NGH 製造プラントの高圧ガス完成検査並びに試運転の各工程で各種不具合が発生し、その都度、工程を調整し諸対応を取って来たが、平成 21 年 1 月に、戻りガスライン不具合および LNG ポンプ不具合が発生し、計画年度内の実証の実施が困難な状態となった。戻りガスライン不具合は、設計に起因しており、再設計および改造工事が必要となったため、下記事項も考慮し研究期間を平成 21 年度まで 1 ヶ年延長した。

プロジェクトの遅延は、プロジェクト実施中における実証設備建設における遅延であり、不可抗力或いは他の責に帰する遅延ではないが、プロジェクト実施の意義（成果の確認実施）を確保する観点から、是非とも実証試験を実施し、技術開発の実証をする必要がある。なお、実証試験設備建設の遅延を除いた個々の技術開発試験結果はほぼ満足の行く結果が得られておることから、実証試験設備の建設を完了させ、実証実験を実施すれば開発目標は達成する可能性が高いと考えられる。

4. 中間評価(自主中間評価)結果への対応

平成20年2月8日に開催した第5回特別委員（2年目終了時）において、本事業を3年度以降も進めることの可否評価も含め自主中間検査を実施した。

本中間評価の評価は、「概ね現行通り実施して良い」との評価であり、3年度以降も当初計画通りに事業を進めることとした。なお、「成果達成後には、活発な成果発表・特許出願を期待する。」とのコメントもあり、3年目以降成果発表・特許出願を積極的に進めることとした。

三井造船株式会社

委員	評価	コメント
委員A	B	前例の無い技術開発に果敢に取り組み、着実に計画を前進させておられることを評価したい。実用化見通しについてBの評価を付けたが、そもそも実用化見通しがAになるような技術開発なら自社費用でやるべきではないか。実用化についてはなお“適度な”リスクがあるということが、B評価の意味とお考えいただきたい。（三井造船、中国電力共通）
委員B	B	プラント設計、製造に関連して同社のこれまでの蓄積された技術存分に導入されていると評価できる。並行して行っている要素技術開発は、今後同社の技術の蓄積に留まらず、ハイドレート利用技術全般に寄与する重要な知見となると思われるので、世界的に評価に耐えうる成果発表の形にまとめていただきたい。そして世界初のハイドレート地上輸送の実証研究を進めて、多くの成果を上げていただきたい。
委員C	A	実験室レベルでの研究開発からは想定されなかった技術的課題も多くあり、この点からもこの実証研究を実施した意義は十分にあると言える。また、技術的な難易度の高い課題を着実に解決する取り組みがなされている。一方、上でも述べたように、研究開発成果の公表については今後強化する必要がある。実証研究であるから、実践的な成果に重きが置かれるのは当然であるが、本研究は世界のハイドレート利用技術をリードするプロジェクトであり、世界における我が国の優位性を確固たるものにするためにも、学術的にも世界をリードする成果を発信していただきたい。（三井造船、中国電力共通）
委員D	A	産業利用が期待される NGHの国内ローリー輸送および需要家での直接利用について、独自の豊富な実績に基づき効率的な実証試験を計画し、順調に準備している。準備段階としては極めて適切な進捗である。今後の運転試験結果に大きい期待がかかる。
委員E	A	パイロットプラントを設計・建設するには困難な情勢の中で、地に付いた技術開発を進めていることを高く評価する。

自主中間評価の委員コメントを下表に示す。

中国電力株式会社

委員	評価	コメント
委員A	B	前例の無い技術開発に果敢に取り組み、着実に計画を前進させておられることを評価したい。実用化見通しについてBの評価を付けたが、そもそも実用化見通しがAになるような技術開発なら自社費用でやるべきではないか。実用化についてはなお“適度な”リスクがあるということが、B評価の意味とお考えいただきたい。（三井造船、中国電力共通）
委員B	B	実証研究の実施企業として、これまでハイドレート研究に関する蓄積があまり無かったにもかかわらず、非常にアクティブな研究開発姿勢であることが評価できる。研究推進の企業としてだけでなく、一ユーザーとしてのスタンスを忘れずにプロジェクトへのフィードバックを期待したい。次年度の実証試験では、事業者としてだけでなくユーザーとのインターフェースとして柔軟で迅速な対応、および必要十分な研究の推進を期待したい。
委員C	A	実験室レベルでの研究開発からは想定されなかった技術的課題も多くあり、この点からもこの実証研究を実施した意義は十分にあると言える。また、技術的な難易度の高い課題を着実に解決する取り組みがなされている。一方、上でも述べたように、研究開発成果の公表については今後強化する必要がある。実証研究であるから、実践的な成果に重きが置かれるのは当然であるが、本研究は世界のハイドレート利用技術をリードするプロジェクトであり、世界における我が国の優位性を確固たるものにするためにも、学術的にも世界をリードする成果を発信していただきたい。（三井造船、中国電力共通）
委員D	A	天然ガスの新しい輸送・貯蔵媒体を、自らが関与するガス需要家において直接利用する試験をはじめて実施するにあたり、業務知識と経験にもとづき必要となる環境整備（安全面を主とする技術、法令対応の提案、実施）を行い、適切・順調に準備している。
委員E	A	これからのパイロットプラント試験に向けて万全の準備を進めており、今後の運転研究を安全に遂行されることを期待している。

5. 評価に関する事項

5.1 事前評価

- ①評価の実施時期：平成17年10月
- ②評価手法：次年度新規事業の事前評価
- ③評価結果：評価結果（事前評価書）を下表に示す。

事前評価書

		作成日	平成17年10月7日
1. 事業名称 (コード番号)	高効率天然ガスハイドレート輸送・利用システム技術実証研究		
2. 推進部署名	省エネルギー技術開発部		
3. 事業概要	<p>(1) 概要：パイプラインやローリー車による天然ガスの供給が困難な地域において、中小規模需要家や簡易ガス事業用向けの天然ガス利用形態として技術開発が進んでいるNGH(天然ガスハイドレード)を利用した高効率な供給システムの開発を行う。具体的には、NGH・輸送及び再ガス化設備に関する技術開発を行い、設備の性能・安定的運転の確認、安全性の確認、運転管理面でのノウハウの蓄積、供給システムの標準化・性能点検等を通じて、実効的な新供給システムを確立する。</p> <p>(2) 事業規模：総事業費15億円(内 国費分10億円;2/3補助) 平成18年度予算 270百万円</p> <p>(3) 事業期間：平成18年度～20年度(3年間)</p>		
4. 評価の検討状況			
(1) 事業の位置付け・必要性			
<p>天然ガスについては、エネルギー基本計画、京都議定書目標達成計画において環境適合性、調達源の多様性から積極的に導入すべきエネルギーとして位置付けられ「天然ガスシフトの加速化を推進する」ことが明示された。具体的には、天然ガス供給インフラ構築のための環境整備を総合的に推進するとしている。</p> <p>京都議定書目標達成のためには、分散型電源の普及、工業用燃料転換の推進等のための基盤整備に早急に着手することが必要であることから、パイプラインの敷設等が直ちに期待できない地域において、天然ガスを供給する有効な手段となり得るNGH供給システムの実証試験に対する支援を積極的に行うことは、パイプライン供給とNGH等のサテライト供給を有機的に組み合わせた形で天然ガス需要開拓を行うことが可能となり、天然ガスシフトに対応した迅速なインフラ整備の上で極めて有効である。</p>			
(2) 研究開発目標の妥当性			
<p>NGHを用いて天然ガスの小規模輸送を行うアイデアは既に提案されているが、いまだに、実際に輸送を行った事例はない。</p> <p>本実証試験では、簡易ガス事業やコージェネレーションシステム等現在重油やLPGを使用している小規模需要家(天然ガス 50m³/h 相当以下)に対し、実際に天然ガス供給を実施するもので、製造、輸送及び再ガス化設備を設計・建設・運転する事により、NGH輸送システムの有用性を実証することは、天然ガスの普及促進の上で、妥当なものである。</p>			

<p>(3) 研究開発マネジメント</p> <p>①国の天然ガス導入促進の施策として、企業負担1/3の共同研究として運営する。</p> <p>②本事業は、装置メーカーと製造・輸送・再ガス化装置の運営事業者が関係を取りつつ実施するものとする。共同研究先からは、年数回、技術開発の進捗状況について報告を受けることにより状況把握する。</p> <p>③技術面での指導・助言を行うため、共同研究先に有識者を中心とした特別委員会を設置する。また、必要に応じ、NEDO内に技術委員会を設置し、開発内容の審議を行う。</p>
<p>(4) 研究開発成果</p> <p>本技術開発により、天然ガス未普及地域において、中小規模の熱等の需要家に対する天然ガス普及が促進される。また、NGH供給地点が増加すれば、パイプライン供給への転換も可能となる。</p>
<p>(5) 実用化・事業化の見通し</p> <p>本研究開発で得られた成果は、技術開発終了後、民間企業等の負担において商品化のための更なる開発が実施される。</p> <p>事業化時期は平成25年を想定。本事業では、1～2個所の需要家を想定したシステムを構築するが、事業終了後5年程度の期間内にシステムのスケールアップを行う。</p>
<p>(6) その他特記事項</p> <p>なし</p>
<p>5. 総合評価</p> <p>本事業は、国の天然ガス導入促進推進の施策により、天然ガスの利用拡大を図ることによって、地球環境問題への対応及びガス利用者の利益を増進する目標を達成するために、NGHを利用した天然ガス供給システムの実証試験の一部を NEDO 技術開発機構が支援する事業である。</p> <p>天然ガスを供給する有効な手段となり得るNGH供給システムの実証試験に対する支援を積極的に行うことは、パイプライン供給とNGH等のサテライト供給を有機的に組み合わせた形で天然ガス需要開拓を行うことが可能となり、天然ガスシフトに対応した迅速なインフラ整備の上で極めて有効である。</p> <p>本技術開発により、天然ガス未普及地域において、中小規模の熱等の需要家に対する天然ガス普及が促進される。また、NGH供給地点が増加すれば、パイプライン供給への転換も可能となる。</p> <p>以上のように、本事業は進める意義があると判断される。</p>

5.2(自主)中間評価

- ①評価の実施時期：平成20年2月8日
- ②評価手法：外部評価
- ③評価事務局：省エネルギー技術開発部（推進部）
- ④評価項目・基準：下表に示す

評価項目・判定基準

1. 研究開発マネジメントについて		
・非常に良い	→A	【考慮事項】 1) 研究開発目標の妥当性 2) 研究開発計画の妥当性 3) 研究開発実施者の事業体制の妥当性
・よい	→B	
・概ね妥当	→C	

・妥当とは言えない	→D	4) 情勢変化への対応等
2. 研究開発成果について		
・非常に良い	→A	【考慮事項】 1) 目標の達成度 2) 成果の意義 3) 特許の取得 4) 論文発表・成果の普及
・よい	→B	
・概ね適切	→C	
・適切とは言えない	→D	
3. 実用化・事業化の見通しについて		
・明確な実現可能プランあり	→A	【考慮事項】 1) 成果の実現可能性 2) 波及効果 3) 事業化までのシナリオ
・実現可能なプランあり	→B	
・概ね実現可能なプランあり	→C	
・見通しが不明	→D	
4. 総合評価		
・非常に良い	→A	【考慮事項】 これまでの取り組み（2ヵ年）に対する総合評価
・良い	→B	
・概ね適切	→C	
・見直し必要	→D	

⑤評価委員：下表の通り。

	氏名	所属	役職
委員長	森 康彦	慶應義塾大学 理工学部機械工学科	教授
委員	内田 努	北海道大学 大学院工学研究科応用物理学専攻凝縮物理学講座生物物理学研究室	准教授
	大村 亮	慶應義塾大学 理工学部機械工学科	准教授
	奥井 智治	東京ガス株式会社 海外事業部 上流事業グループ	副部長
	小野崎 正樹	財団法人エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究室	副主席研究員

⑥評価結果：「4. 中間評価(自主中間評価)結果への対応」の通り

5.3 事後評価

平成22年度に実施の予定。

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

1.1 開発成果概要

本研究開発においては、ガスハイドレート化技術を利用した天然ガス供給システムを確立することを目的として、LNG 未利用冷熱を活用した NGH 製造設備を開発し、中国電力株式会社柳井発電所構内に設置するとともに、製造した NGH を複数の天然ガス需要家に配送・ガス化する装置を開発し、NGH 製造・輸送・ガス化一貫システムの実証試験を実施した。

以下、実証試験結果について、基本計画における研究開発の目標および研究開発内容ごとに達成度を評価する。

- 1) LNG 未利用冷熱を活用した 5 トン/日級 NGH 製造設備を開発し、連続運転を行い、NGH スラリー生成・NGH ペレット成型などが 5 トン/日相当以上の能力を有することを確認した。
- 2) 上記設備の連続運転により、メタンのほか、エタン・プロパン等を含んだ多成分混合ガスである天然ガス（LNG を気化して得られるガス）を原料として、原料ガスとほぼ同一の成分比率となる NGH が連続的に生成されることを確認した。
- 3) 上記設備の連続運転により、LNG 冷熱を中間冷媒（プロパン）およびブライン（エチレングリコール水溶液）により回収し、NGH 生成および NGH ペレット冷却に有効に利用されることを確認した。
- 4) 上記設備の長期連続運転（維持運転含む）として、NGH スラリー生成については 100 時間程度、NGH ペレット成型については 80 時間程度、また累計時間としては、スラリー生成 350 時間程度、ペレット成型 200 時間程度の運転を行い、設備安定性を確認した。

上記実証設備の建設・実証試験と並行して、構成機器の高性能化研究を実施し、以下の成果を得た。

- 1) 脱水塔について、差圧を付加的な脱水駆動力として利用し、脱水速度を向上させる試験研究を三井造船千葉技術開発センターに設置されている実験装置（BSU：ベンチスケールユニット 0.6 トン/日級）にて実施し、上記実証設備に採用した重力式脱水塔に比べ、4 倍の脱水速度が得られることを確認した。
- 2) ペレタイザにおいて成型時に発生する圧搾水の排水機能を高度化する試験研究を BSU にて実施し、ガス包蔵率が 80%以上と高く、貯蔵・輸送状態での分解率の低い（安定な）ペレットが連続製造されることを確認した。
- 3) 脱圧装置に関し、三井造船(株)千葉事業所千葉技術開発センターに単独試験装置を設置し、マテリアルシールにより、脱圧時の高压ガスの低压側への同伴量を、実証設備に採用したロックホッパ式（ダブルバルブ式）の 1/2 以下にできることを確認した。

また、製造した NGH の輸送・再ガス化装置については、以下を確認した。

- 1) 2 種類（ペレットコンテナ A および B）のサイズ・形状の車載型 NGH 輸送・貯蔵・再ガス化容器により、上記実証設備で製造した NGH ペレットを 2 カ所のガス需要家サイトに輸送するとともに、各サイトにて同容器に温水を供給し、容器内で NGH ペレットを再ガス化し、天然ガスを各需要家に供給されたことを確認した。
- 2) 2 カ所の天然ガス需要家である、産業用コージェネレーション設備および一般家庭へのガス供給を、ガス利用システムにおける供給ガス量制御システムにより支障なく行えることを確認した（写真 1.1、1.2）。



写真 1.1 小口需要家での試験の様子



写真 1.2 大口需要家での試験の様子

以上により、基本計画における研究開発の目標および研究開発内容を達成した。

本実証試験は、ガスハイドレートによる天然ガスの需要家への輸送としては世界で初めての試みであったが、無事に実施することができた。同時に、本実証は、これまでは天然ガスパイプラインの厄介者であったガスハイドレートを工業的に製造・利用する世界で最初の試みでもあった(写真 1.3)。



写真 1.3 出荷初日の様子

1.2 開発成果

1.2.1 目標の達成度

本研究開発では、LNG未利用冷熱を活用したNGH製造設備（5～10 t／日）を開発し、LNG基地に建設し、長時間連続運転が可能なることを実証する。併せて、製造されたNGHの輸送・ガス化装置の開発・実証を行うことを目標としている。

本目標を達成するための研究開発内容として、以下の各項目を実施した。

- 1) 多成分混合ガスハイドレート製造技術開発
- 2) 未利用冷熱利用によるNGH生成熱除去技術開発
- 3) 高圧下で製造したペレットの連続冷却・脱圧技術開発
- 4) NGH配送・利用システムの開発

上記開発項目の実施経緯、成果と達成度を表 1.1 に示す。

本研究開発目標は全て達成することができた。

1.2.2 成果の意義

成果の意義を表 1.2 に示す。

表 1.2 成果の意義

評価項目	成果
①市場の拡大・創造性	天然ガスの供給手段が限られている、地方都市部の中小規模のガス需要に対する新しい供給手段の一つとして、天然ガスシフトへの迅速なインフラ整備、ガス市場活性化が期待される。
②世界水準	ハイドレートを工業的に製造・利用する世界で初めての試み。
③新たな技術領域の開拓	連続で大量にNGHを製造・利用することは初めての試みであり、ハイドレート分野での技術領域に新たな領域を生み出した。
④汎用性	本技術開発により開発された技術、知見は商用化に向けた技術に応用可能である。

表 1.1 研究開発項目の実施経緯と成果、達成度

研究開発項目	H18年度	H19年度	H20年度	H21年度	成果	達成度
(1) 多成分系混合ガスハイドレート製造技術開発					柳井発電所(LNG基地)に多成分混合ガスである天然ガスを原料とするNGH製造出荷設備を開発、設置して試運転・実証運転を行い、以下を確認した。 ・長期運転安定性、安全性 ・原料ガスとほぼ同等成分比率のNGH連続生成 ・NGHスラリー生成能力、ペレット成型能力が5トン/日相当以上の能力を有する。 また、並行して高性能化研究を実施し、脱水塔の加圧脱水方式で重力式に比べ4倍の脱水速度を確認した。ペレタイザの成型時圧搾水排水機能高度化試験を行い、ガス包蔵率が高く安定なペレットの連続成型を確認した。	○
a. 多成分系混合ガスハイドレート連続製造システムの開発						
(a) NGH製造システムの開発	設計・製作		定期自主検査			
(b) NGHペレット自動出荷設備の開発	現地工事		設備改造			
(c) NGH製造システムの高性能化研究	試験研究(千葉BSU装置)		試運転			
b. LNG基地におけるNGH製造プラント・出荷システムの実証				試運転/実証		
(2) 未利用冷熱利用によるNGH生成熱除去技術開発					LNG未利用冷熱を中間冷媒(プロパン)およびブラインによって回収し、NGH生成、ペレット冷却等に利用する設備を開発、設置し、有効に冷熱を利用できることを確認した。	○
a. LNG基地における未利用LNG冷熱のNGH製造への適用技術開発	設計・製作					
(3) 高圧下で製造したペレットの連続冷却・脱圧技術開発					マテリアルシールによる連続脱圧試験装置により、弁切替によるバッチ方式に比べ脱圧時の高圧ガスの低圧側への同伴量を1/2以下にできることを確認した。	○
a. 連続冷却・脱圧システムの開発	試験研究(千葉ハイドレート試験装置)					
(4) NGH配送・利用システムの開発					ガスエンジン需要家用として、縦型容器を搭載したNGHペレット用ローリー1, 2号車(5t用)、横型容器を搭載した3号車(7.5t用)を開発、製作した。一般家庭用需要家用として、縦型容器4基(200kg/基)を開発、製作した。 NGHペレットをLNG基地から約100kmの需要家サイトへ配送し、輸送時の安定性を確認した。	○
a. 車載型NGHペレット配送・ガス化一体システムの開発						
(a) NGHペレット配送・ガス化一体容器の開発	試験研究		設計・製作			
(b) NGH陸上配送システムの実証	試験検討、関係官庁調整		配送	配送		
b. NGH利用システムの開発					需要ガス量に応じて再ガス化量を制御する自動ガス供給ユニットを開発し、東広島エネ総研(ガスエンジン用)、海田広島ガス研究所(一般家庭用)に設置した。また、ガス化設備の設置にあたり、適用法規等の調査・関係官庁との協議を行った。 NGH製造出荷設備から配送したペレットを各需要家サイトでガス化し、設備運転安定性、ガス供給システムの制御性、ペレット安定性等を確認した。 また、NGHガス化で発生する分解水および分解水の持つ冷熱の利用方法について検討し、各利用システムの構築を行った。	○
(a) 全自動ガス供給ユニットの開発	試験研究		設計・製作・据付			
(b) NGH分解・分解水利用システムの構築			調査・システム検討			
(c) ガスエンジンへのNGHによるガス供給の実証			試験検討、関係官庁調整	試運転/実証		
(d) 一般家庭(模擬需要)へのNGHによるガス供給の実証	需要家調査		試験検討、関係官庁調整	試運転/実証		

1.2.3 特許等の取得

本実証研究期間中に三井造船(株)および中国電力(株)が共同出願した特許は下記の表 1.3 のとおりである。

表 1.3 実証期間中に特許した特許

出願日	出願番号	発明の名称
H19/3/30	特願 2007-094026	ガスハイドレートの脱水装置
H19/3/30	特願 2007-090094	付臭装置
H19/3/30	特願 2007-095674	ガスハイドレートの圧縮成型機 (PCT/JP2008/056245 の優先権主張にともなう取下げ擬制)
H20/3/26	特願 2008-081750	ガスハイドレート脱水装置
H20/3/27	PCT/JP2008/055963	ODORIZING APPARATUS (特願 2007-090094 の PCT 出願、日本指定なし)
H20/3/28	PCT/JP2008/056245	GAS HYDRATE COMPRESSION MOLDING MACHINE (特願 2007-095674 の PCT 出願、優先権主張あり、日本指定あり)
H20/3/28	特願 2009-507545	ガスハイドレートの圧縮成型機 (PCT/JP2008/056245 の日本出願)
H20/3/28	12/450, 448	GAS HYDRATE COMPRESSION MOLDING MACHINE (PCT/JP2008/056245 の米国出願)
H20/3/28	200880010618.9	GAS HYDRATE COMPRESSION MOLDING MACHINE (PCT/JP2008/056245 の中国出願)
H20/3/28	W-00200902743	GAS HYDRATE COMPRESSION MOLDING MACHINE (PCT/JP2008/056245 のインド出願)
H20/3/28	2009140138	GAS HYDRATE COMPRESSION MOLDING MACHINE (PCT/JP2008/056245 のロシア出願)
H20/3/28	0808140-9	GAS HYDRATE COMPRESSION MOLDING MACHINE (PCT/JP2008/056245 のブラジル出願)
H20/3/28	PI20093713	GAS HYDRATE COMPRESSION MOLDING MACHINE (PCT/JP2008/056245 のマレーシア出願)
H20/3/28	2008233594	GAS HYDRATE COMPRESSION MOLDING MACHINE (PCT/JP2008/056245 のオーストラリア出願)

H20/3/28	8739363.3	GAS HYDRATE COMPRESSION MOLDING MACHINE (PCT/JP2008/056245 の欧州出願)
H20/3/28	特願 2008-088457	回転式分配装置
H20/3/28	特願 2008-088469	スライド式分配装置
H20/3/28	特願 2008-088788	ガスハイドレートペレットのガス化装置およびガス化方法
H20/3/28	特願 2008-086472	脱水塔スラリー供給方法
H21/3/27	PCT/JP2009/056377	APPARATUS AND METHOD FOR GASIFYING GAS HYDRATE PELLET (特願 2008-088788 の PCT 出願、優先権主張あり、日本指定なし)
H21/3/27	090100415	APPARATUS AND METHOD FOR GASIFYING GAS HYDRATE PELLET (特願 2008-088788 のタイ出願、優先権主張あり)

1.2.4 成果の普及

研究期間中は国内外を問わず、研究内容および成果について積極的な普及活動を行った。表 1.4 に研究期間中の研究発表および講演（口頭発表や展示会も含む）を示す。なお、平成 20 年 7 月に開催された日本伝熱学会では、「LNG の冷熱を利用する天然ガスハイドレート製造技術の開発」で第 21 回日本伝熱学会技術賞を受賞した。また、研究期間中は NGH 製造・出荷設備の見学会などを精力的に開催し、NGH の事業化に関心の高いエネルギー開発会社、電力・ガス会社、地方自治体、大学・官公庁関係者、一般企業など多数の方々が訪問した（写真 1.4、1.5）。

表 1.4 平成 18 年～21 年度の研究発表

発表年月日	発表媒体	備考
H19/3/8	平成 18 年度ボイラー・タービン主任技術者会議	福岡県
H19/7/1	The 17 th International Offshore and Polar Engineering Conference	リズボン
H19/12/13	エコプロダクト 2007	東京都
H20/1/1	「配管技術」1 月号	日刊工業出版
H20/1/1	「電気評論」1 月号	電気評論社
H20/3/10	Gastech 2008 (Bangkok)	バンコク
H20/7/1	第 47 期総会 日本伝熱学会	京都府
H20/7/10	The 6 th International Conference of Gas Hydrate	バンクーバー
H20/11/6	エンジニアリングシンポジウム 2008	東京都
H20/12/3	International Petroleum Technology Conference 2008	クアラルンプール
H21/2/1	「ペトロテック」2 月号	石油学会
H21/2/15	Qatar-Japan Joint Seminar on Technical and Economic Energy Issues	ドーハ/日本エネルギー 経済研究所
H21/5/25	Gastech 2009	アブダビ

H21/9/1	「Mitsui Field」 秋号	三井広報委員会
H21/9/3	NGH フォーラム	広島県/山口県
H21/11/18	INCHEM 2009	東京都
H21/12/1	「環境エネルギー」	環境エネルギー 政策研究所
H22/1/20	ガスハイドレート産業創出イノベーション講演会	産業技術総合研究所
H22/2/15	ハイドレート国際シンポジウム	神奈川県
H22/2/16	メタンハイドレート総合シンポジウム	産業技術総合研究所
H22/4/20	プレスリリース（日本経済新聞、日刊工業新聞 他）	

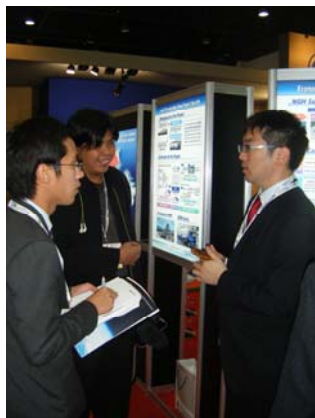


写真 1.4 Gastech2009 (アブダビ)



写真 1.5 NGH フォーラム (広島)

表 1.5 のとおり、今後も研究成果発表予定に努め、本研究成果を発表することで、ハイドレート研究に学術的にも大いに貢献していきたいと考えている。

表 1.5 今後の研究発表 (予定)

発表年月日	発表媒体	備考
H22/6/25	DVD 制作 (三井造船(株)NGH プロモーションビデオ)	
H23/3/1	Gastech 2011	アムステルダム
H23/7/1	The 7 th International Conference of Gas Hydrate	エジンバラ

2. 研究開発項目毎の成果

2.1 NGH 製造・出荷設備の開発

2.1.1 LNG 冷熱利用 NGH 製造・出荷設備

本章では、NGH 製造・出荷設備の設備概要、試運転・実証運転で得られた成果等について報告する。

2.1.1.1 設備概要

(1) 設備構成

設備の概略ブロックフローを図 2.1.1.1-1、概略フローダイアグラムを図 2.1.1.1-2、設備全体写真を写真 2.1.1.1-1 に示す。

NGH 製造出荷設備は以下の系統で構成されている。

① LNG 冷熱回収系	100 番台
② NGH 生成、脱水系	151 番台、200 番台
③ ペレット成型、冷却、脱圧系	400 番台、500 番台
④ ペレット出荷設備	600 番台
⑤ ベント・ブローダウン	700 番台
⑥ 冷媒系（プロパン系、ブライン系）	800 番台、850 番台
⑦ ユーティリティ、OPU 等	900 番台

以下、各系統の設備概要、プロセスについて述べる。

(2) LNG 冷熱回収系

本系統では、LNG 基地から受け入れた LNG を、NGH 生成に必要な圧力(5.3MPaG)まで昇圧するとともに、保有する冷熱を NGH 生成熱除去、ペレット冷却並びに各設備冷却に利用するため、冷媒系に冷熱を熱交換する。

i. 主要機器

本系統を構成する主要機器は以下のものである。

- ・ LNG ポンプ (P-101, P-102) : ノンシール多段遠心ポンプ
- ・ 第一 LNG 熱回収熱交換器 (E-101) : シェル&チューブ型
- ・ 第二 LNG 熱回収熱交換器 (E-102A/B) : シェル&チューブ型
- ・ NG トリムヒータ (E-104) : 二重管式熱交換器
- ・ NG 加熱器 (E-105) : 二重管式熱交換器

ii. プロセス

LNG 供給母管から受け入れた LNG を P-101, P-102 で約 6MPaG に昇圧し、冷熱回収熱交換器 E-101 へ送液するとともに、一部を LNG 循環（保冷循環）して発電所 BOG ドラムに返送する。

E-101 ではプロパン冷媒 REF3 と熱交換後、更に、E-102A/B にてプロパン冷媒 REF1 と熱交換してガス化し約 -20℃まで昇温される。E-101 と E-102A/B の交換熱量割合は E-101 の LNG バイパス流量制御で調整する。

ガス化した天然ガス（以下 NG と称する）は、一部がペレット脱圧槽の昇圧ガスとして供給される。その他の NG は E-104 でブライン BR1 と熱交換して数℃まで加熱され、一部が NGH 生成系に原料ガスとして供給される。余剰の NG は、E-105 で温水と熱交換して約 20℃まで加熱されたのち発電所の NG 母管に返送される。

(3) NGH 生成、脱水系

本系統では、NGH 率 10%のスラリー液を生成し、これを NGH 率 40%まで脱水後、ペレット成型系に供給する。なお、NGH 率とは水+NGH の重量に占める NGH の重量比をいう。

i. 主要機器

本系統を構成する主要機器は以下のものである。

- ・ 第一 NGH 生成器 (D-201) : 縦型円筒ドラム
- ・ 第一 NGH 生成器循環ガスブロワ (B-201) : ロータリーブロワ

- ・ 循環水冷却器 (E-201) : 二重管式熱交換器
- ・ 第一生成器用循環ガス加熱器 (E-203) : 二重管式熱交換器
- ・ NGH 脱水塔循環水加熱器 (E-204) : 二重管式熱交換器
- ・ NGH 脱水塔 A/B (T-201A/B) : 縦型二重円筒、内側 : パウダー、外側 : ろ液
- ・ 脱水塔循環ガスブロワ (B-202) : ロータリーブロワ
- ・ 脱水塔循環ガスクーラ (E-205) : 二重管式熱交換器

ii. プロセス

D-201 では攪拌とバブリングを併用して NG と原料水を積極的に気液接触させることで、NGH 生成 (5.3MPaG、4~12℃) の条件で、水相にて高速で NGH を生成させる。生成器底部には、ガス供給のためのスパージャーがあり、水中でガスを気泡状に開放する。バブリング用 NG は B-201 でガス循環している。

生成熱の除去は外部の熱交換器 E-201 に生成器スラリー液を循環し、BR1 と熱交換する。

D-201 で生成したハイドレートは、スラリー液として脱水塔 T-201A/B へポンプ移送し、脱水されたろ液はポンプで D-201 に戻される。

脱水塔 T-201A/B は内塔と外塔から成っており、内塔の中間部にはスラリー液中の水分をろ過するジョンソンスクリーンが設置されている。脱水塔下部から流入した NGH スラリーは内塔を上昇していき、ジョンソンスクリーン部で水分が分離されて脱水塔頂部では約 40%の NGH 率となる (以下、パウダーと称する。)。塔頂部にはパウダーを掻き集めるスクレーパと掻き集めたパウダーをペレット成型へ送るスクリュウコンベアを備えている。また、脱水効果を高めるためにブロワ B-202 で脱水塔内ガスを循環して内塔と外筒に差圧を設けることにより、重力+差圧で脱水することができる。脱水塔 A と B は同一形状で 50%能力となっている。

(4) ペレット成型・冷却・脱圧系

本システムでは、NGH パウダーをペレット化し、冷却後、脱圧して大気圧下でペレットを取り出し出荷設備へ供給する。

i. 主要機器

本システムを構成する主要機器は以下のものである。

- ・ KP 装置 (Z-401) : スクリュー押し込みロール圧搾成型式
- ・ NGH ペレット分離器 (Z-402) : バースクリーンタイプ
- ・ 解砕機 (Z-402-1) : フレーククラッシャ
- ・ NGH ペレット冷却槽 (Z-403) : 縦型円筒、攪拌翼付き
- ・ ペレット冷却用循環ガスブロワ (B-401) : ロータリーブロワ
- ・ NGH ペレットクーラ用循環ガス冷却器 (E-401) : シェル&チューブ
- ・ 脱圧槽 (D-501A/B) : 縦型円筒
- ・ 残留ガスヒータ (E-501) : 二重管式熱交換器
- ・ 脱圧ガス槽 (D-502) : 縦型円筒

ii. プロセス

脱水塔から供給された NGH パウダーを高圧下で圧搾、ペレット化する。ペレットは同伴する圧搾水の一部、バリ等がペレット分離器 (スクリーン) で分離され、NGH ペレット冷却槽へ自重で落下する。

ペレット分離器 Z-402 で分離された水分や NGH パウダー、破片、バリなどは 解砕機 Z402-1 で破碎され、圧搾水とともに生成器へ返送されて原料水として再使用する。

冷却槽 Z-403 ではペレット冷却の促進と固着防止のため攪拌機を設けており、数℃のペレットを、高圧下で-20℃まで冷却する。冷却は NG を循環するシステムをとっており、E-401 で冷熱が与えられる。

冷却されたペレットは Z-403 より脱圧槽 D-501A/B に交互に受け入れ脱圧後、大気圧状態としてペレット出荷設備に供給する。

(5) ペレット出荷設備

i. 主要機器

本系統を構成する主要機器は以下のものである。

- ・ 受け入れホッパー (D-603) : 縦型円錐ホッパー
- ・ 定量コンベア (Z-603) : スクリューフィーダ
- ・ 垂直コンベア (Z-601) : バケット式
- ・ 水平コンベア (Z-602) : ガス浮上式
- ・ ペレットディストリビュータ (Z-604) : エアシリンダ駆動 6 方弁
- ・ 循環ガス熱交換器 A, B (E-602, E-603) : シェル&フィンチューブ
- ・ オフスペックペレット容器 A/B (D-602A/B) : 縦型円筒
- ・ 脱水塔循環ガスクーラ (E-205) : 二重管式熱交換器

ii. プロセス

本設備では、ペレットを垂直コンベア、水平コンベア、ディストリビュータを経て、貯蔵容器兼用の配送用ペレットコンテナ (NGH ローリー、小口容器) に供給する。各設備はブライン (BR2) により -20°C に冷却される。配送用ペレットコンテナは NGH ペレットを受け入れる前に予冷される。

垂直コンベアは約 13m の揚程を持ち、設備の 3 階に設置した水平コンベア Z-602 までペレットを揚げる。水平コンベアはディストリビュータ Z-604 上部入口までペレットを横移動し、重力で Z-604 内にペレットを落とし込む。ペレットのサンプリングは水平コンベア入口の三方弁を切替えて行う。

Z-604 は円周方向に 60 度ずつ回転する 6 方弁となっており、6 箇所にペレットを振り分けることができる。

また、運転スタートアップ時やペレットサンプリングによりオフスペックとなったペレットはオフスペックペレット容器 D-602A/B に交互に受入れてガス化し、NG はハイベントから放出し、融解水は排水処理 (産廃として排出) する。ガス化は水噴霧により行う。

需要家側でガス化できずに持ち帰ったペレットがある場合は、輸送容器内でガス化し、オフスペックペレットと同様に NG はハイベントから放出し、融解水は排水処理する。

(6) 冷媒系 (プロパン系、ブライン系)

冷媒系は、プロパンを冷媒とする REF1、REF3、ブライン (エチレングリコール水溶液) を冷媒とする BR1、BR2 で構成される。REF1 と REF3 は BR1 及び BR2 へ冷熱を供給するための中間冷媒系となっている。

i. 主要機器

本系統を構成する主要機器は以下のものである。

- ・ REF1 冷媒ドラム (D-801) : 横型円筒
- ・ REF3 冷媒ドラム (D-802) : 横型円筒
- ・ BR1 ブラインドラム (D-851) : 縦型円筒
- ・ BR2 ブラインドラム (D-852) : 縦型円筒
- ・ BR1 ブラインクーラ (E-851) : シェル&チューブ
- ・ BR2 ブラインクーラ (E-852) : シェル&チューブ
- ・ BR1 スタートアップヒータ (E-854) : 温水加熱式二重管熱交換器
- ・ BR2 スタートアップヒータ (E-855) : 電気ヒータ

ii. プロセス

プロパン冷媒 REF1(-15°C)は、BR1 のブライン熱交換器 E-851 に冷熱を供給するものであり、E-102A/B にて LNG から冷熱が供給される。

プロパン冷媒 REF3 (-35°C) は、BR2 のブライン熱交換器 E-852 と循環ガス冷却器 E-401 に冷熱を供給するものであり、E-101 にて LNG から冷熱供給される。

ブライン BR1 (0°C) は、E-201, E-202, E-205 や機器・配管トレースに冷熱を供給するもので、ポンプ循環運転される。また、運転安定のためダミー負荷として温水熱交換器 E-854 を持つ。

ブライン BR2 (-30°C) は、トレースおよび出荷設備に冷熱を供給するもので、ポンプ循環運

転される。運転安定のためダミー負荷として電気ヒータ E-855 を持つ。



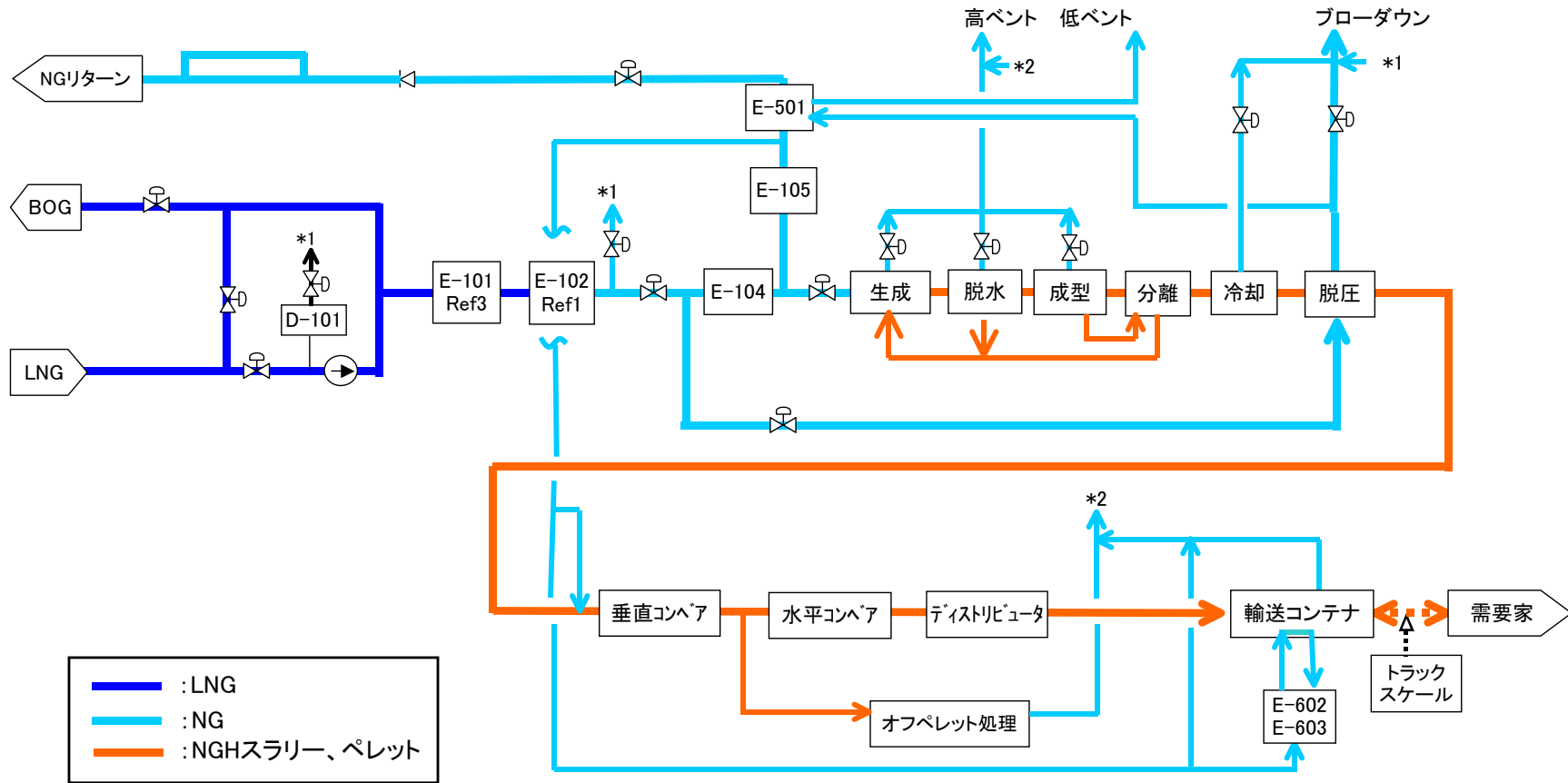


図 2.1.1.1-1 NGH 製造出荷設備 概略ブロックフロー

NGH PLANT / FLOW DIAGRAM

Sect.200

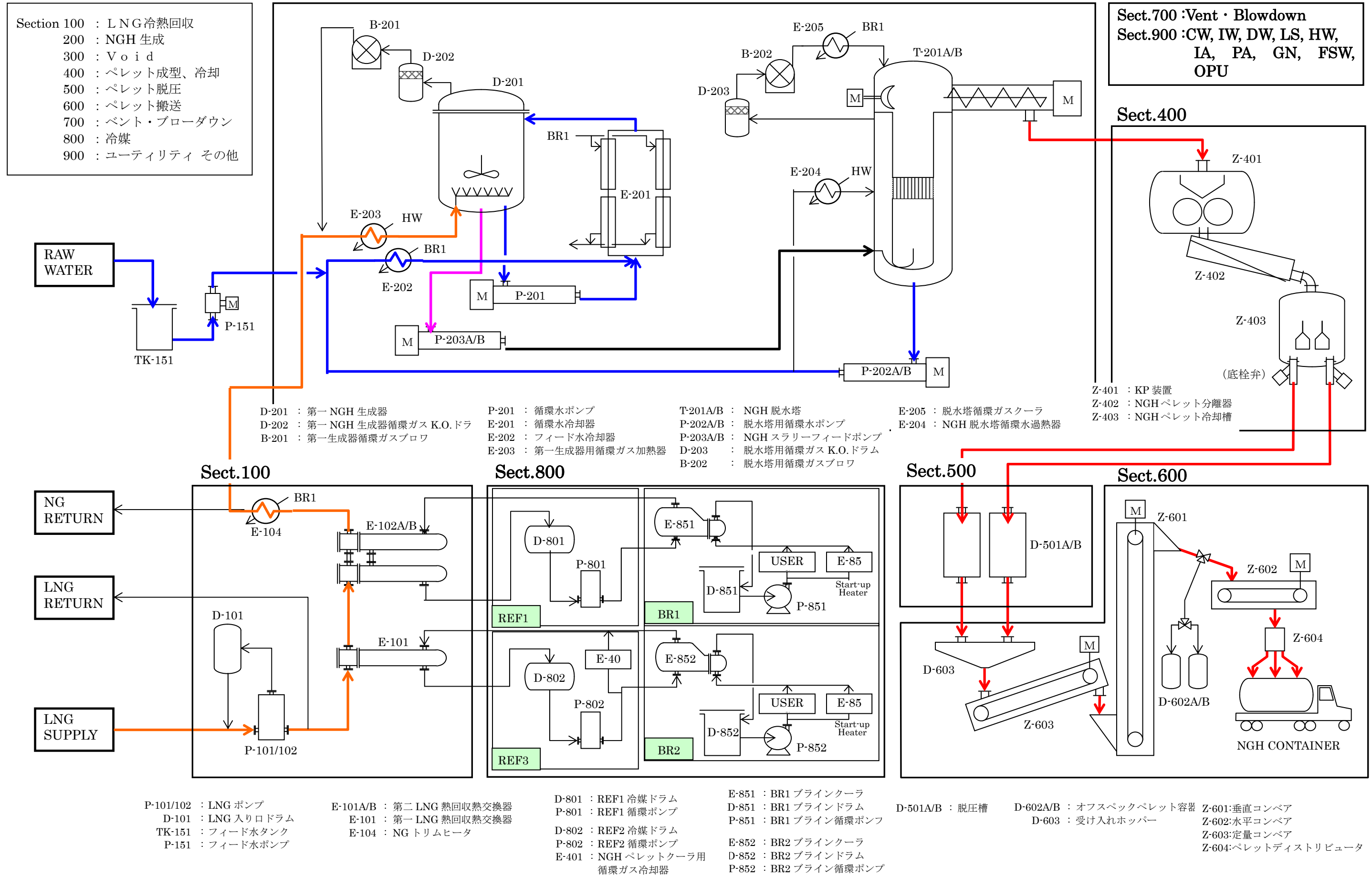


図 2.1.1.1-2 概略フローダイヤグラム

2.1.1.2 試運転および実証運転実施結果

(1) NGH 生成運転

i. 運転概要

NGH 生成運転の開始にあたり、生成に必要な冷熱が得られることを確認するためブラインの冷却能力確認試験を実施した。その結果、LNG 冷熱を REF1/BR1 に集中することで、生成に必要な冷熱量を確保する運転条件が得られた（後述 ii）。その後、NGH 生成能力確認試験を実施し定格生成量（75%NGH 率ペレット 5 トン/日相当）を達成した（iii）。

試験を通じて NGH スラリー生成特性を評価したところ、生成器の攪拌回転数を増大させる事で更に生成量が増大する傾向が得られた（iv）。循環水冷却器（E-201）では、NGH スラリー流量を倍増させた場合に各プロセス値がどの様に向上するかを調べた（v）。また設備立上時に生成される NGH の包蔵ガス平均分子量の変化が小さくなるまでに必要な生成量を評価することで、NGH ペレットのオフスペック処理量の目安量を検討した（vi）。

ii. BR1 ブラインの冷却能力確認試験

本試験は、LNG 冷熱回収系の運転条件を調整する事で NGH 生成に必要な冷熱条件（ブライン温度と冷熱量）を確認した。

1) 試験方法

本試験では NGH の生成は行わず、定格量生成に伴う熱量は、ダミー負荷としてスタートアップヒータ（E-854）から供給した。NGH に必要な冷熱量を表 2.1.1.2-1 に示す。ここで冷熱量は次の様に決定した。ペレット製造量の 5 トン/日にて、その NGH 率が 75wt%だと NGH の生成量は 156kg/h になるが、生成圧力の 5.3MPaG から大気圧に下げた時の分解量を加味し、NGH の生成量を 174kg/h とした。この時の生成熱は 21.7kW となり、これにフィード水や脱水塔からの戻り水、浸入熱を考慮すると合計で 32.7kW となった。

LNG 冷熱回収工程の運転条件は、第二 LNG 熱回収熱交換器（E-102）に冷熱を集中するため E-102 に入る LNG 温度を計画値の-84℃から約-95℃に下げる事とした。その調整は BR2 ブラインシステムの第一 LNG 熱回収熱交換器（E-101）のバイパス流量制御で行った。

2) 試験結果

図 2.1.1.2-1 に冷却能力確認試験時の第二 LNG 熱回収熱交換器（E-102）入口 LNG 温度を示し、図 2.1.1.2-2 にブラインの温度および熱交換量の経時変化を示す。

試験中に E-102 入口 LNG 温度を徐々に高くし-85℃にまで上げたところ、図 2.1.1.2-2 に示すブライン冷却器熱交換量が減少傾向を示した。その後、LNG 温度を-95℃に戻す事でそれらの熱交換量は増大傾向を示した。表 2.1.1.2-2 にブライン冷却能力確認試験の結果を示す。これら値は、図 2.1.1.2-2 の 15:30 から 16:30 までの期間で各値の平均値を示している。試験期間のブライン温度の平均値は 1.4℃で、かつブラインで得られた冷熱量は 34.1kW であり、NGH 生成に必要な冷熱量を得る事が出来た。

iii. NGH 生成能力確認試験

1) 試験方法

NGH の定格生成量は、上述の冷却能力確認試験と同様に考えて 174kg/h とした。この時、試験中に生成される NGH スラリーは脱水塔（T-201A 及び B）に送られ、脱水運転を行いながら貯留した。また、試験期間は脱水塔に貯留される NGH が脱水塔の塔頂部に到達するまでとした。

生成能力の評価は、生成器で消費される原料ガス流量（以降、ガス消費量と称する）から換算した NGH 生成量で行った。ガス消費量は、NGH 生成量の 174kg/h の時、24.5kg/h に相当する。

2) 試験結果

表 2.1.1.2-3 に試験時の運転条件を示す。また、図 2.1.1.2-3～図 2.1.1.2-6 に、NGH 生成能力確認試験時の生成器（D-201）圧力、循環ガスブロウ（B-201）吐出圧力、生成器（D-201）液位、温度および循環水冷却器（E-201）温度、循環ガスブロウ（B-201）流量の経時変化を示す。

試験開始と同時に生成器攪拌機を起動すると循環水流量が大きく減少した。循環水流量計はコ

リオリ式流量計を採用しており、試験開始時の生成液中には、気泡の巻き込みが生じたと考えられた。そこで試験は B-201 流量を絞り、かつ生成器攪拌機の回転数を下げて開始した。循環水流量が安定したのを確認後、B-201 流量を増大させて、更に攪拌機回転数も増大させて表 2.1.1.2-3 の条件とした。

図 2.1.1.2-7 に NGH 生成能力確認試験時の NGH 生成量の経時変化を示し、図 2.1.1.2-8 にガス消費量および算出に用いた流量補正值の経時変化を示す。ここで流量補正は、E-104 供給ガス量が生成器の圧力および液位の変動による影響を補正する為に行った。上述の運転方法で立ち上げた結果、NGH 生成量として 183kgNGH/h が得られた。この時、脱水塔に送液した NGH スラリーを採取したところ、その NGH 率（スラリー中の NGH 重量百分率）は 11.7wt%（計画値 10 wt%）であり、NGH 率と NGH スラリー量（1,740kg/h）の積から算定した生成量も定格値を上回っている事を確認した（NGH 生成量=1,740×11.7/100=203.6kgNGH/h）。

サンプリングにより得られた NGH 生成能力確認試験時の生成器気相ガス組成および NGH スラリー包蔵ガス組成を表 2.1.1.2-4 に示す。気相ガス組成から求めた試験中の三相平衡温度は、12.1℃から 12.6℃であった。

iv. NGH スラリー生成特性

試運転において得られた NGH スラリー生成特性として、図 2.1.1.2-9 に生成器攪拌機（A-201）の回転数をパラメータとした過冷却度に対する NGH 生成量を示す。NGH 生成量は単位液相容量当りの値である。過冷却度は、気相中のガス組成に基づく NGH の平衡温度と D-201 系液相の代表温度との差である。ここで NGH の生成領域は、D-201 本体の液相だけでなく E-201 および循環水ラインを含めた液相全体として考え、D-201 系液相の代表温度は、E-201 の入口液温と出口液温の平均値とした。温度軸の各プロットは、運転中に D-201 気相ガスのサンプリングを実施した時刻における 5 分間平均値である。NGH の生成量は、いずれの攪拌回転数でも過冷却度に比例する傾向がみられた。本図で得られた比例係数すなわち単位過冷却度当り・単位液相容量当りの NGH 生成量と攪拌回転数との関係をプロットすると図 2.1.1.2-10 の様に表された。NGH の生成には過冷却度とともに、液面や液相中の気泡表面積といった気液の界面積が大きく影響することが知られており、攪拌回転数に応じ気液界面積が変化していると考えられる。本図では過冷却度を加味した NGH 生成量が攪拌回転数に比例して単調増加しており、その効果は未だ飽和していない。

従って、冷熱が十分であれば攪拌回転数の増速により更に NGH 生成量を増大させることが可能と考えられる。

v. 循環水冷却器（E-201）に於ける NGH スラリー流量と熱交換量の関係

循環水冷却器（E-201）のプロセス側の NGH スラリーの流量を倍増させて、各プロセス値の変化を調べた。E-201 は、二重管型熱交換器の 2 系統で構成されており、流量の変更は NGH 製造運転中に、NGH スラリー流量を E-201 の片側 1 系統に集中させて行った。

図 2.1.1.2-11 に循環水冷却器（E-201）温度および流量の経時変化を示し、図 2.1.1.2-12 に熱交換量および総括熱伝達係数の経時変化を示す。また表 2.1.1.2-5 に E-201 プロセス側流量と各プロセス値の変化率を示す。E-201 のプロセス側の NGH スラリー流量を 1.89 倍する事で、プロセス側の熱交換量 Q_{IN} は 1.38 倍となった。

今後、循環水流量の見直しと生成器攪拌機の回転数の増大によって、NGH 生成能力が高まる可能性が示唆された。

vi. NGH 生成量と生成器の NGH スラリーの包蔵ガス平均分子量の関係

図 2.1.1.2-13 に NGH 生成量（積算）と生成器の NGH スラリー包蔵ガス平均分子量の関係を示す。図中には各試験の原料ガス組成の平均分子量を示した。生成開始直後の NGH スラリーの包蔵ガス平均分子量は、原料ガス組成に比べて大きい値を示した。生成が進むに伴い、ガス平均分子量は減少傾向を示し、積算生成量が約 500kg で下げ止まると分子量は増え始めた。ここで、

図 2.1.1.2-14 に NGH 生成量(積算)と生成器の気相ガス組成基準の三相平衡温度の関係を示す。三相平衡温度は減少傾向を示し、約 300kg で下げ止まった後、増え始めて約 600kg で変化が小さくなった。この図 2.1.1.2-14 から、図 2.1.1.2-13 の NGH スラリーの包蔵ガス平均分子量も変化が小さくなるのは 800kg とみられる。

表 2.1.1.2-1 生成に必要な冷熱量

項目		備考
生成に必要な冷熱量	32.7 kW	
(内訳) NGH 生成熱量	21.7 kW	=174kg/h×448.61kJ/kg/3600s/h
フィード水及び循環ガスの除熱量	8.5 kW	脱水塔からの戻り水含む
浸入熱及びポンプ発熱量	2.5 kW	

表 2.1.1.2-2 BR1 ブライン冷却能力確認試験結果(平均値)

項目		備考
第二 LNG 熱回収熱交換器 (E-102) の入口の LNG 温度	-94.2 °C	LNG トータル流量 457kg/hr の内、E-102 流入量を調整し、温度調整
BR1 ブライン循環流量	39.3 t/h	
BR1 ブライン供給温度	1.40 °C	
BR1 ブライン戻り温度	2.34 °C	
BR1 ブライン冷却器出口温度	0.56 °C	E-104、E-851
BR1 ブライン冷却器熱交換量 Q851	64.8 kW	E-104、E-851 での熱交換量合計
BR1 ブラインで得られた冷熱量 Q	34.1 kW	

表 2.1.1.2-3 NGH 生成能力確認試験時の運転条件

項目		備考
生成器圧力	5.3 MPaG	
生成器温度	5.7 °C	
気相ガス基準三相平衡温度	12.1~12.6 °C	
生成器攪拌回転数	115~122 rpm	
循環水流量	12,060 kg/h	
循環ガス流量	300 kg/h	
NGH 生成量	183 kg/h	
脱水塔供給 NGH スラリー流量	1,740 kg/h	脱水塔 A 系及び B 系の合計

表 2.1.1.2-4 NGH 生成能力確認試験時の生成器気相ガス組成及び NGH スラリー包蔵ガス組成 (mol%)

試料名	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	i-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀	i-C ₅ H ₁₂	平衡温度
原料ガス	88.917	7.012	2.661	0.740	0.640	0.030	
生成器気相 開始時 10:28	95.120	3.487	0.737	0.179	0.425	0.052	12.6
試験後 11:39	96.281	2.550	0.583	0.161	0.371	0.054	12.1
NGH スラリー包蔵ガス 10:23	90.908	5.945	2.020	0.546	0.538	0.042	

表 2.1.1.2-5 E-201 プロセス側流量と各プロセス値の変化率

No.	E-201 プロセス側流量 G _{IN} t/h	E-201 ブライン側流量 G _{OUT} t/h	プロセス側熱交換量 Q _{IN} kW	ブライン側熱交換量 Q _{OUT} kW	プロセス側流体温度 T ℃	熱流束 u* kW/m ²	対数平均温度差 Δtm ℃	総括熱伝達係数 U* kW/m ² K
1 (18:00～19:00)	6.4	19.0	5.6	12.6	7.4	0.387	1.39	0.28
2 (19:00～19:40)	12.1	19.1	7.8	15.4	8.1	0.532	2.05	0.26
変化率 (No.2/No.1)	1.89	1.01	1.38	1.23	1.09	1.38	1.48	0.94

* 伝熱面積 A=14.56m²

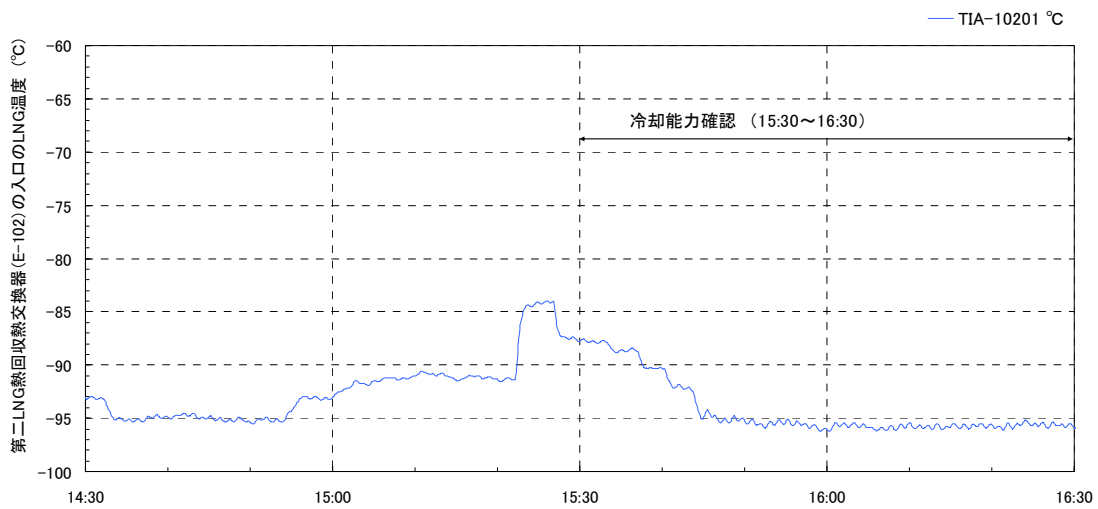


図 2.1.1.2-1 冷却能力確認試験時の第二 LNG 熱回収熱交換器 (E-102) 入口 LNG 温度

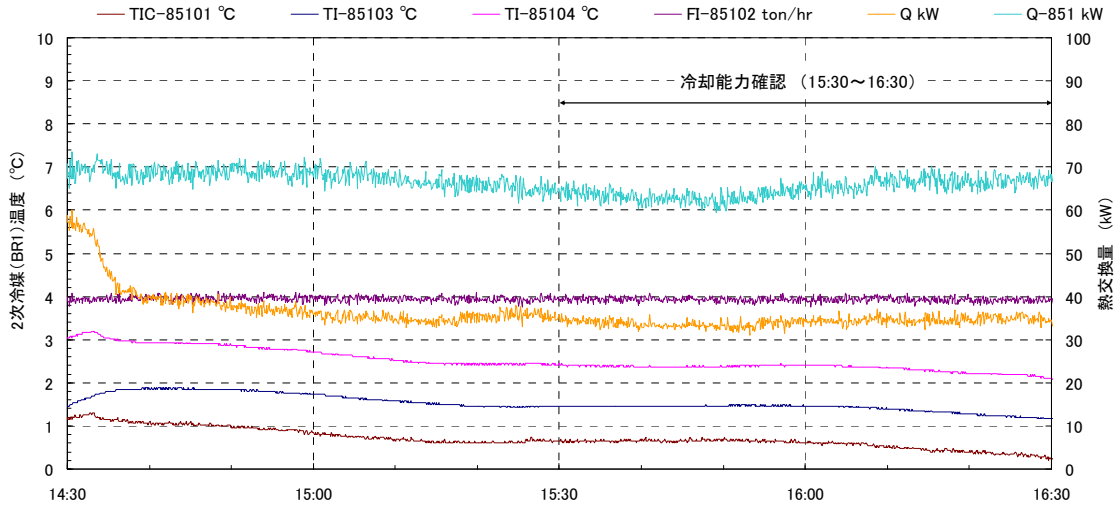


図 2.1.1.2-2 冷却能力確認試験時の BR1 ブラインの温度
及び熱交換量の経時変化

TIC-85101 : BR1 ブライン冷却器出口温度 TIC-85103 : BR1 ブライン供給温度
 TIC-85104 : BR1 ブライン戻り温度 FI-85102 : BR1 ブライン循環流量
 Q851 : BR1 ブライン冷却器熱交換量 Q : BR1 ブラインで得られた冷熱量
 (ダミー負荷)

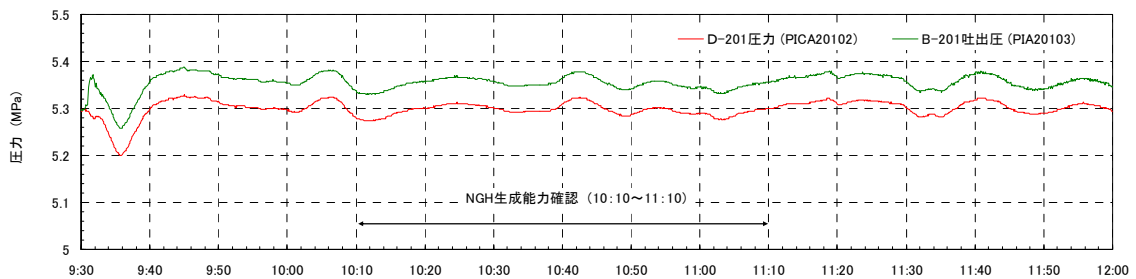


図 2.1.1.2-3 NGH 生成能力確認試験時の生成器 (D-201) 圧力
及び循環ガスブロワ (B-201) 吐出し圧力の経時変化

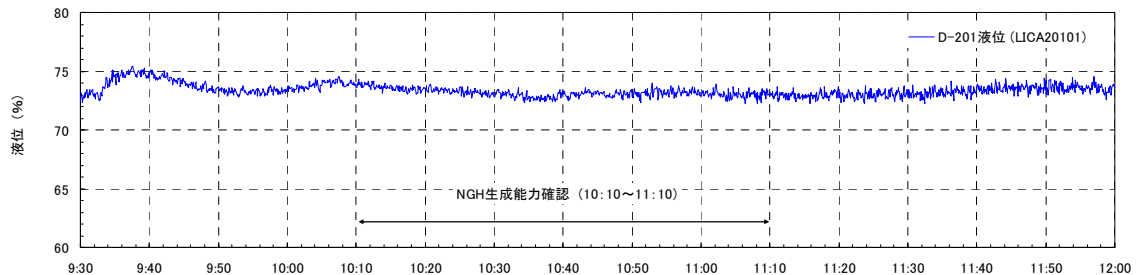


図 2.1.1.2-4 NGH 生成能力確認試験時の生成器 (D-201) 液位の経時変化

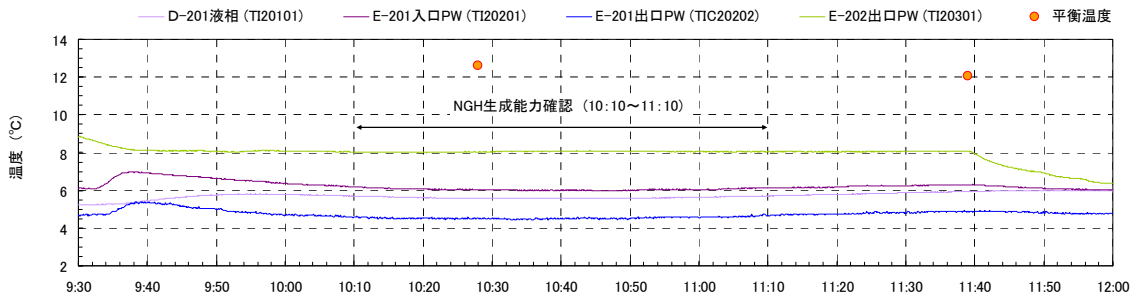


図 2.1.1.2-5 NGH 生成能力確認試験時の生成器 (D-201) 温度
及び循環水冷却器 (E-201) 温度の経時変化

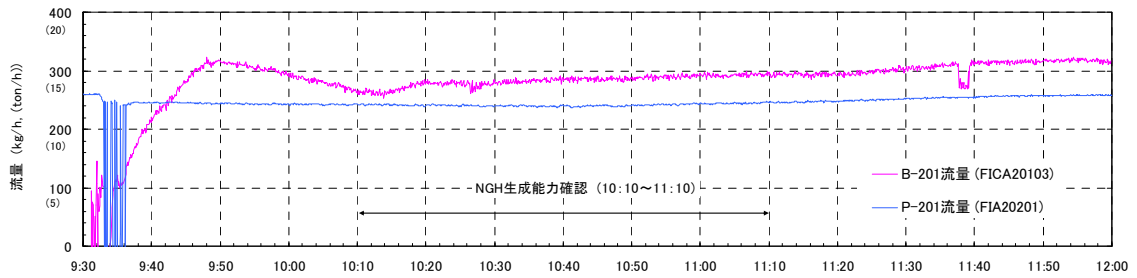


図 2.1.1.2-6 NGH 生成能力確認試験時の循環ガスブロウ (B-201) 流量 (kg/h)
及び循環水ポンプ (P-201) 流量 (ton/h) の経時変化

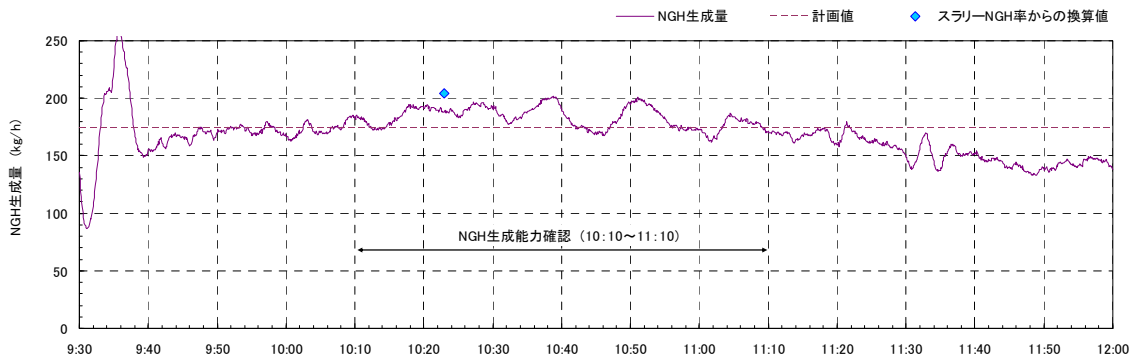


図 2.1.1.2-7 NGH 生成能力確認試験時の NGH 生成量の経時変化

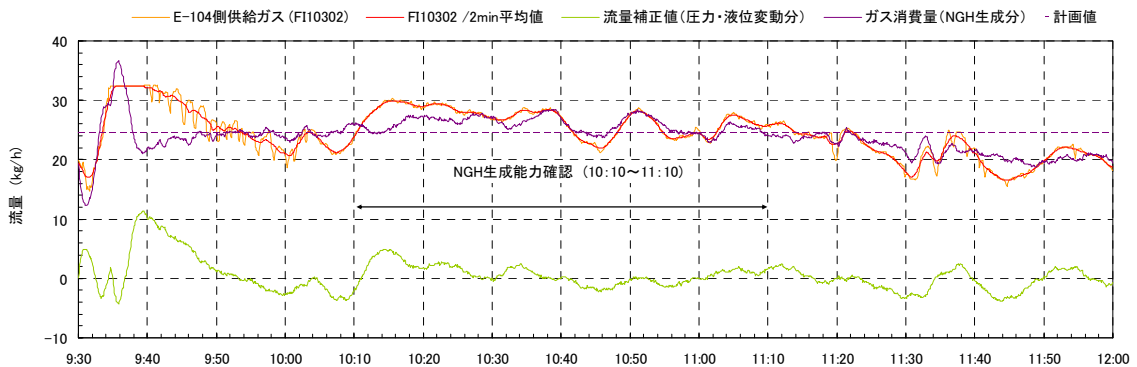


図 2.1.1.2-8 NGH 生成能力確認試験時のガス消費量
及びその算出に用いた補正流量値の経時変化

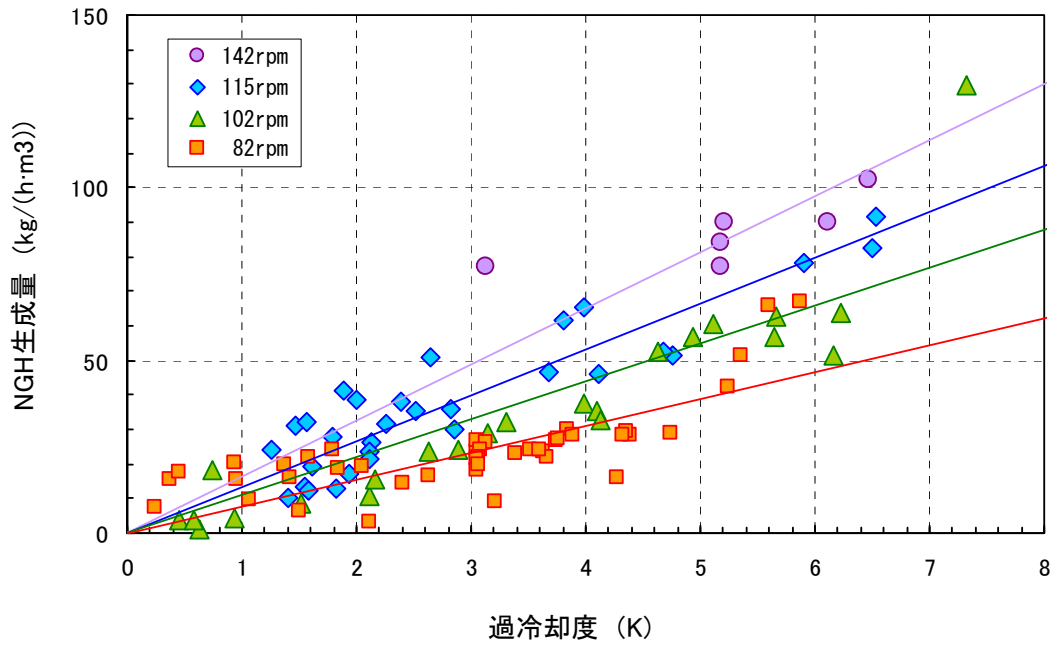


図 2.1.1.2-9 過冷却度に対する NGH 生成量 (単位液相容量当り)

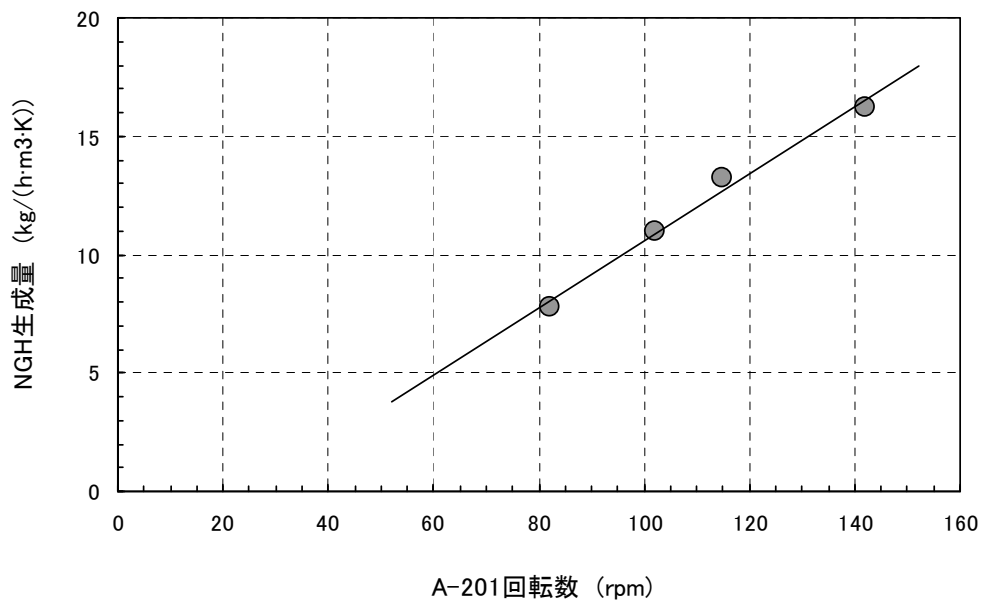


図 2.1.1.2-10 攪拌回転数に対する NGH 生成量 (単位過冷却度・単位液相容量当り)

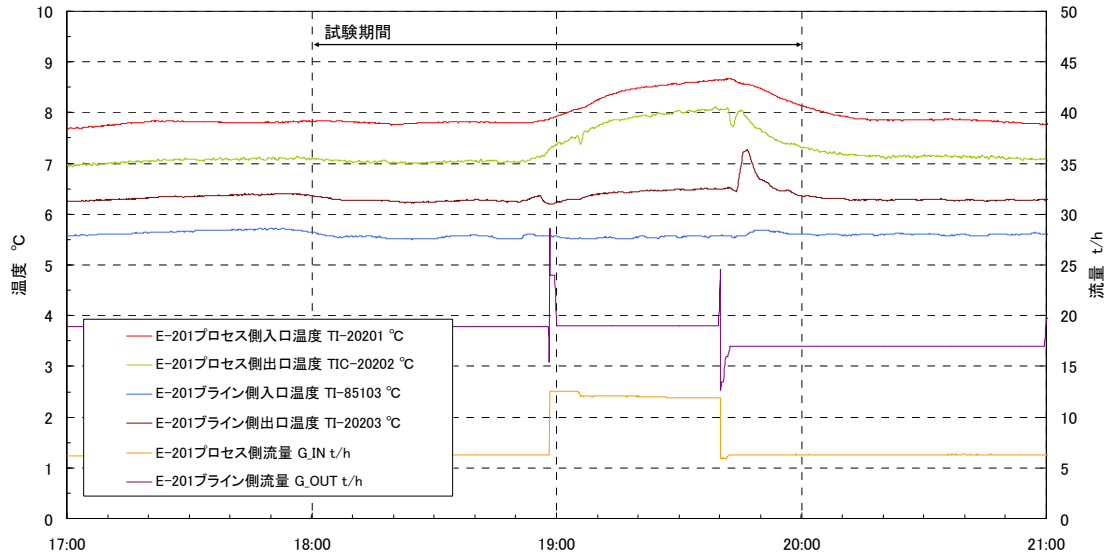


図 2.1.1.2-11 循環水冷却器 (E-201) 温度及び流量の経時変化

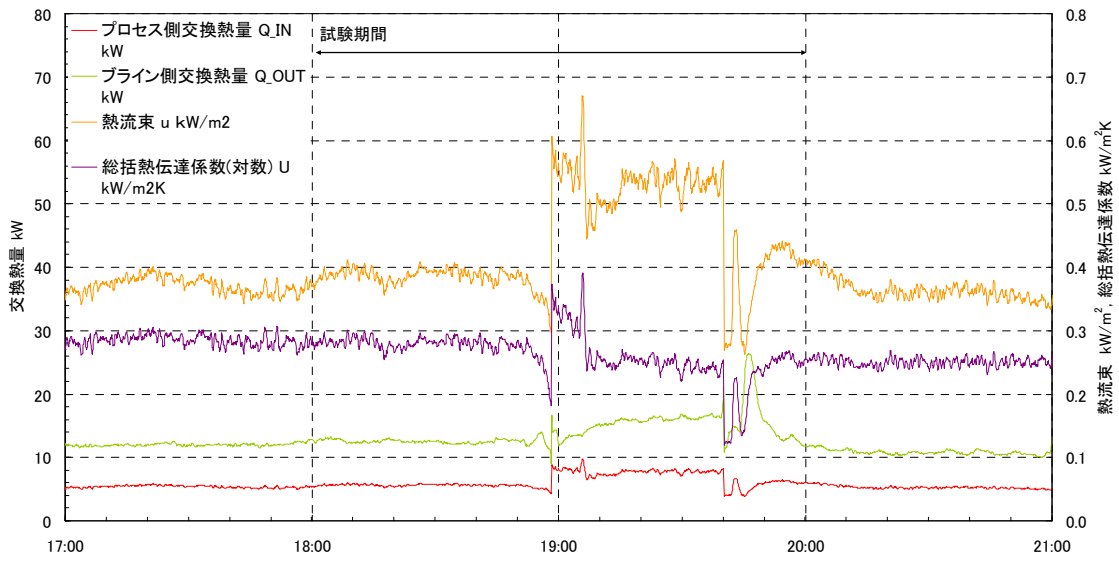


図 2.1.1.2-12 熱交換量及び総括熱伝達係数の経時変化

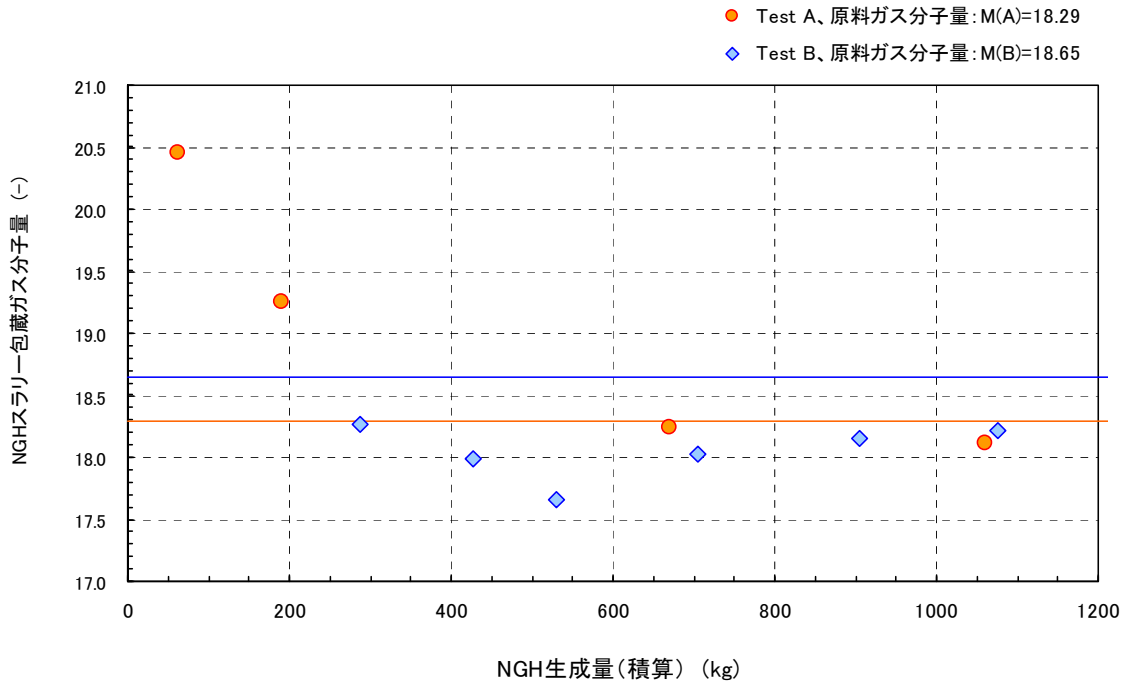


図 2.1.1.2-13 NGH 生成量 (積算) と生成器の NGH スラリー包蔵ガス分子量の関係
及び各テストに於ける原料ガス分子量

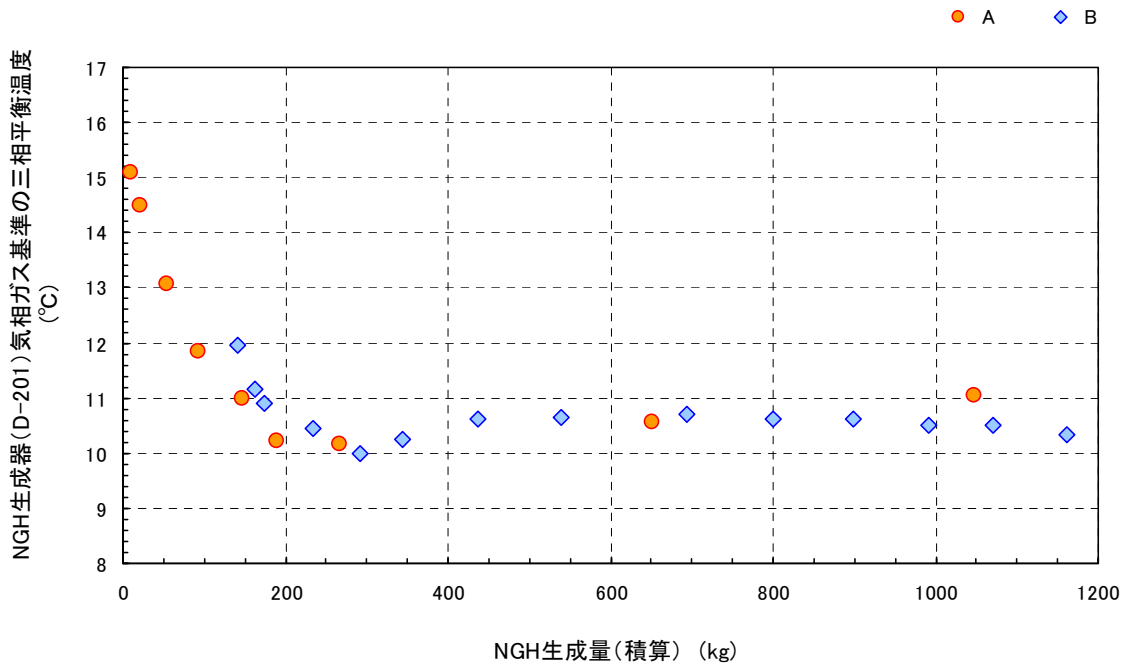


図 2.1.1.2-14 NGH 生成量 (積算) と生成器の気相ガス組成基準の三相平衡温度の関係

(2) 脱水塔運転

i. 運転状態

運転概要および運転条件を以下に示す。

1) 運転概要

- ① D-201 系で生成した NGH スラリーを T-201 に送液し、内筒内に NGH の移動層 (NGH ベッド) を形成させる。
- ② 排水部より排出される NGH ベッドからのろ液は外塔に保持され、その液位を一定に制御するように D-201 に送液される。
- ③ NGH ベッドは脱水を続けながら内筒内を上昇し、T-201 頂部からスクレーパで払い出される。
- ④ 排水部をはさんで、内筒側と外塔側に差圧を付加することにより、脱水を促進させる。

2) 運転条件

スラリーフィード流量	750kg/h
脱水塔循環水流量	650kg/h
スラリーNGH 率	6.0%

なお、スラリーNGH 率においては、以下のため 6%とした。

- ① 下流側設備の冷熱使用により生成に必要な熱量が不足。
- ② Z-402 処理量の低下により脱水塔処理量を調整。

NGH スラリーは、内筒底部にある供給部において、流路内径が 21.4mm (20A 配管) から約 1,000mm (排水部内径) に拡大するため、NGH ベッドが均一に形成されず偏りができる懸念がある。NGH ベッドに偏りができ、スラリーが排水部に向かって短絡して流れる「ろ過漏れ」が起こると、ベッドは上昇せず脱水運転が継続できなくなる。

図 2.1.1.2-15 に、スラリーフィード流量 (FI20102) および D-201 へのろ液排出流量 (T-201 循環水流量 FI20402) と、その流量差を示す。両者の間に流量差が生じていることからベッドが安定して形成されていることがわかる。

NGH ベッドは、ベッド内を水が通過する抵抗を受けて上昇する。上昇する際、内筒管壁との壁面摩擦抵抗を受ける。抵抗増大によるベッドの停滞が設計時に懸念されたため、内筒を上部拡がりのテーパ仕様とした。図 2.1.1.2-16 および図 2.1.1.2-17 に、T-201 圧力とスラリーフィード配管との差圧 (PDI20403) の経過を示す。図 2.1.1.2-16 は、スラリーフィードポンプ (P-203) 起動後からの差圧変化を、図 2.1.1.2-17 はベッドが塔頂部に到達してからの差圧変化を示している。この差圧はベッドを上昇させるための力であり、主にベッド自重および壁面抵抗によって変化するため、内筒内のベッドの状態を表す指標とみなすことができる。図 2.1.1.2-16 より、ポンプ起動後ベッドが形成され始め、送液により持ち上げられるベッド自重および壁面抵抗が徐々に増加していることから、すなわちベッドが上昇を続けていることがわかる。また、図 2.1.1.2-17 では塔頂部到達後、差圧はほぼ 0.03MPaG で推移している。これは、ベッドが塔頂部に到達してスクレーパで払い出されるようになり、ベッド自重および壁面抵抗の変化がなくなったことを示すとともに、その後も抵抗増大によるベッドの停滞がみられず安定運転できていることを示す。

ベッド上昇を確認した後、脱水促進のためベッドに脱水塔循環ガスブロウ B-202 で付加した差圧 (PDICA20407) の経時変化を図 2.1.1.2-18 に示す。ベッド内の NGH 粒子および粒子間隙に存在する液に印加される差圧は、大きな空隙等、通気しやすい部分があるとかかりにくくなる。従って、この付加差圧もベッドの状態を表す指標となる。図より差圧が 8~9kPa で連続かつ安定してかかっていることから、ベッドは通気孔の少ない均一な状態が継続していることがわかる。

運転初期、循環ガスラインにおいて T-201 から同伴した水と気相ガスとの反応により NGH が生成し、流量低下および閉塞を引き起こした。これに対し、循環ガスラインに温水トレースを施工し NGH が生成しない温度管理を行うことにより閉塞は解消した。また排水部の閉塞も起こったが、これは下流側設備の処理量低下による運転待機状況下で起こったものであり、連続運転下では発生しなかった。

以上により本設備の脱水塔は、NGH 濃度を高める脱水設備として安定運転が可能であることを確認した。

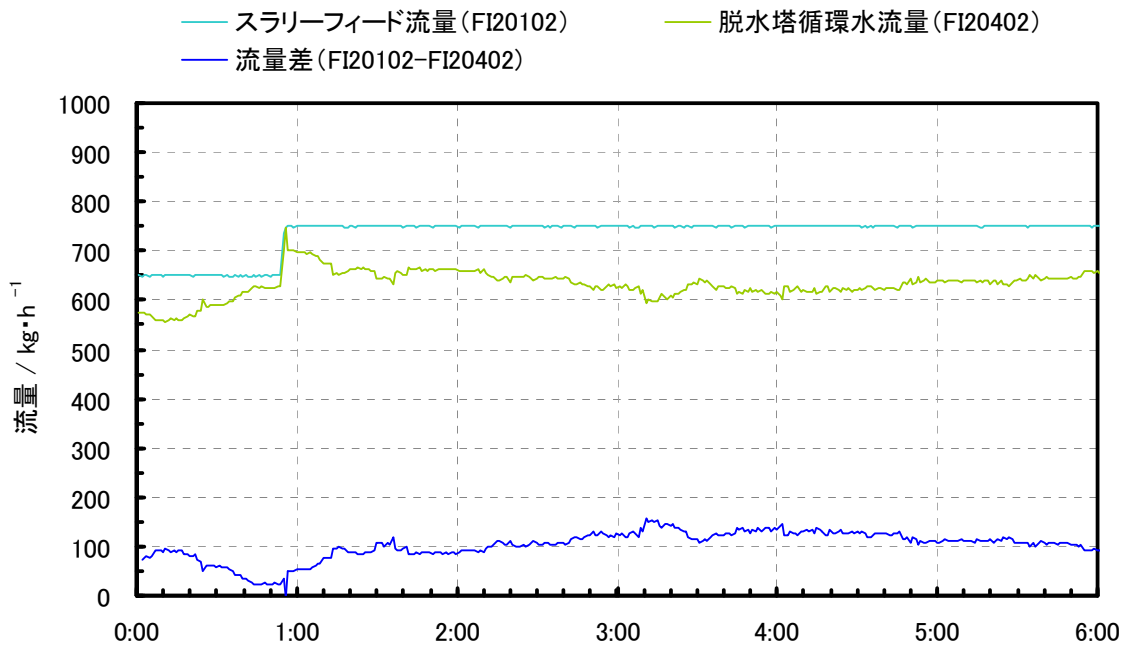


図 2.1.1.2-15 スラリーフィード流量および脱水塔循環水流量とその流量差

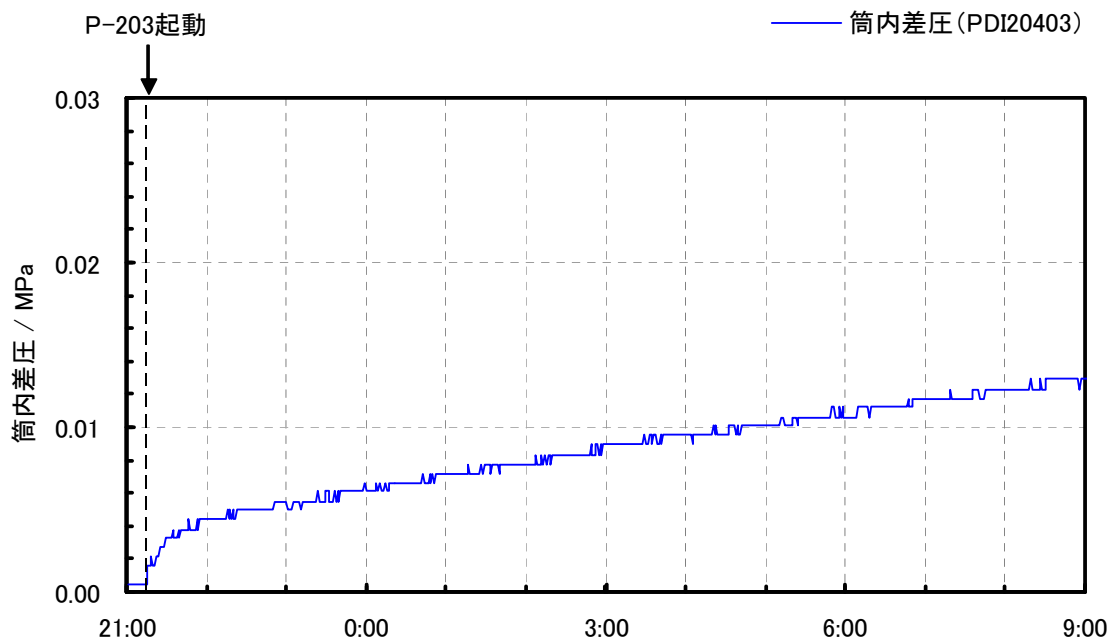


図 2.1.1.2-16 筒内差圧変化（スラリー送液開始後）

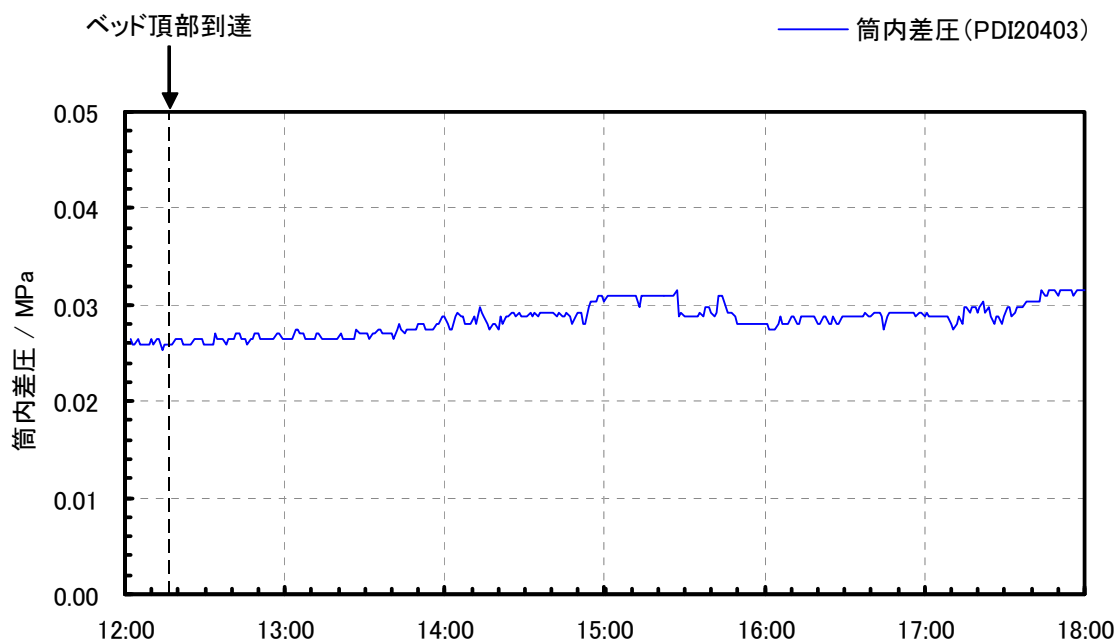


図 2.1.1.2-17 筒内差圧変化（ベッド上部が頂部到達後）

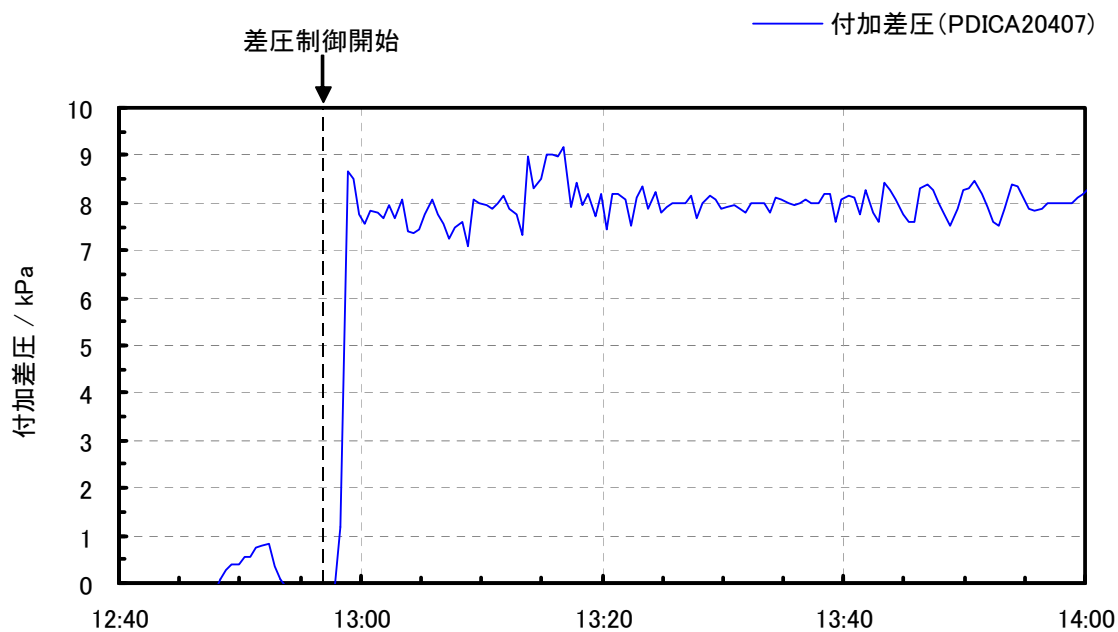


図 2.1.1.2-18 ベッド内差圧の付加状況

ii. 脱水性能

本運転における供給スラリーおよび払い出された NGH パウダーの NGH 率の推移を表 2.1.1.2-6 に示す。スラリー濃度は、質量流量計で計測されるスラリー密度とサンプリングによる

検量線から求めた。

T-201B 出口 NGH 率は、以下に示す固体 (NGH) と液体に関する物質収支により求めた。

$$[\text{T-201 出口 NGH 率}] = [\text{①}] / [\text{②}]$$

$$\text{①} [\text{出口ベッド中の NGH}] = [\text{スラリーフィード流量}] \times [\text{スラリーNGH 率}]$$

$$\text{②} [\text{出口ベッド量}] = [\text{スラリーフィード流量}] - [\text{脱水塔循環水流量}]$$

上式において、計算に用いた流量は 1 時間平均値(表 2.1.1.2-6 に示す各時刻を中央値とする 1 時間の平均値)である。

表に示した運転例において、出口 NGH 率は、約 40% (36~53%) で推移しているものと推定された。サンプリングで得られた NGH 率も 36~46%であることから、物質収支からの推定は妥当であるといえる。また頂部に設置した ITV による観察でも、パウダー性状は水分が少ない乾いた状態であることを確認した。

以上より、本設備の脱水塔は十分な脱水性能を有しているといえる。

表 2.1.1.2-6 スラリーNGH 率と T-201 出口 NGH 率

時刻	23:30	1:00	1:30	2:00	3:00	3:30	4:00	5:00	6:00	6:30
P-203出口スラリー濃度 %		6.20	6.13	6.05	5.94	5.93	5.91	5.85	5.89	5.92
P-203出口スラリー濃度 (サンプリング結果) %	5.91 (23:25)					6.14 (3:09)				6.18 (6:45)
T-201B出口NGH率 %		46.2	46.4	43.6	35.7	36.1	35.5	38.9	44.7	53.0
T-201B出口NGH率 (サンプリング結果) %			36.0 (1:33)					45.8 (5:16)		

サンプリング結果のカッコ内は採取時刻を示す。

(3) ペレット成型・分離運転

i. ペレット成型運転

KP 装置では、脱水塔から供給される NGH パウダーを KP 装置の圧力容器内ホッパーに受け、このパウダーをホッパーのスクリーで回転成型ロールに押し込み、ロールで圧搾成型してペレット化する。ペレット成型速度はこのロール回転数によって決まる。また、押し込みスクリーとロールの回転数比、パウダー状態によって、ロールのトルク値が変動する。運転ではこのトルク値を目安とし、併せてペレット分離器に落下してくるペレットを ITV で目視し成型状況を確認した。運転開始直後やパウダー供給が少なくなると成型が悪くなりパウダー落下が多い傾向がある。

ペレット分離器 (図 2.1.1.2-19 参照) には約 36° の傾斜をつけたバースクリーンがあり、スクリーン上をペレットが通過する間に同伴水分、成型バリや割れたペレット、パウダーが分離してスクリーン下に落ちる。スクリーン上のペレットは自重で下流のペレット冷却槽に落下する。スクリーン下には圧搾時の水と循環水が流れており、分離物と共に解砕機に自重で流れる構造となっている。

ペレット成型運転では、このスクリーン上にペレット破片、パウダーが起点となって徐々にペレットが堆積して下流に流れなくなる現象が生じた。ペレット堆積はペレット成型速度が速いほど生じやすい傾向がみられるが、成型速度を遅くしても生じた。このため、エアノッカーの追

設、スクリーン構造の変更を行い、一定の効果は得られたものの、ペレット堆積現象の完全な解消には至らなかった。この堆積現象解消のためにはペレットの自由落下ではなく機械式の堆積除去方法が必要と考えられる。

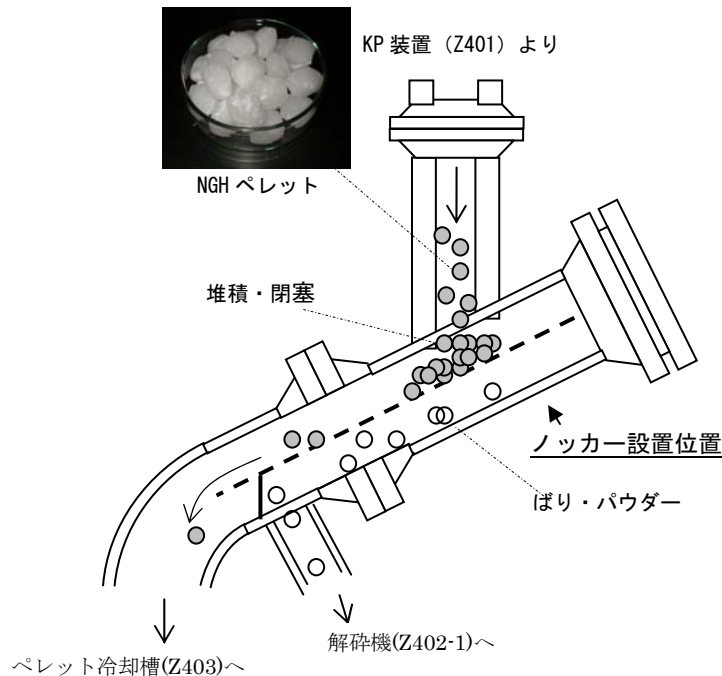


図 2.1.1.2-19 ペレット分離器模式図

ii. ペレット成型能力確認試験結果

ペレット成型能力を確認するため、短時間での成型試験を実施した。

1) KP 装置定格処理能力

ロールディンプル数	196 個 (49 個×4 列)
定格ロール回転数	7.6 rpm
ペレット形状・寸法	ピロー型、22×18×13 (厚さ) mm
ペレット重量	2.37g/個 (2.9ml×0.82g/ml)
ペレット製造能力	212kg/hr(2.37g/個×196 個/ロール×7.6rpm×60 分)

2) 成型試験結果

a) 試験条件

ロール回転数	2.4～10rpm
スクリー回転数	4～17rpm
ロールトルク	15～25Nm

b) 試験結果

試験ロール回転数全般で、ロールトルク 15～25Nm での成型を確認した。

代表的な成型状況 (ロール、スクリー回転数、ロールトルク) を図 2.1.1.2-20～22 に示す。また、ITV にて撮影した成型ペレットの排出状況を写真 2.1.1.2-1～3 に示す。

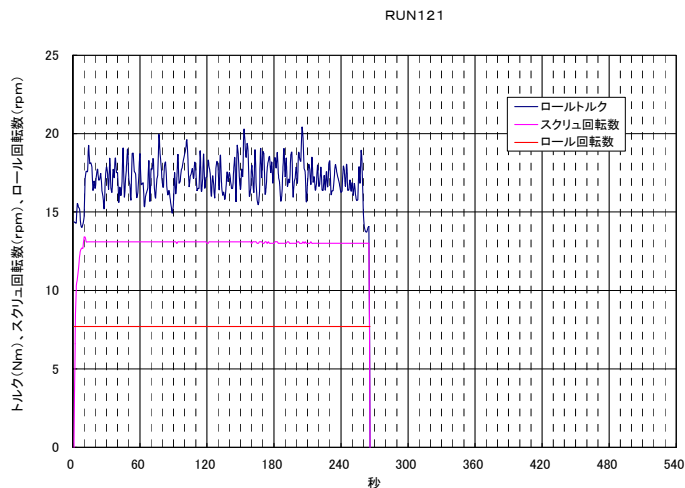


図 2.1.1.2-20 成型能力試験 (ロール 8rpm)



写真 2.1.1.2-1 ペレット排出状況 (ロール 2.4rpm 時)

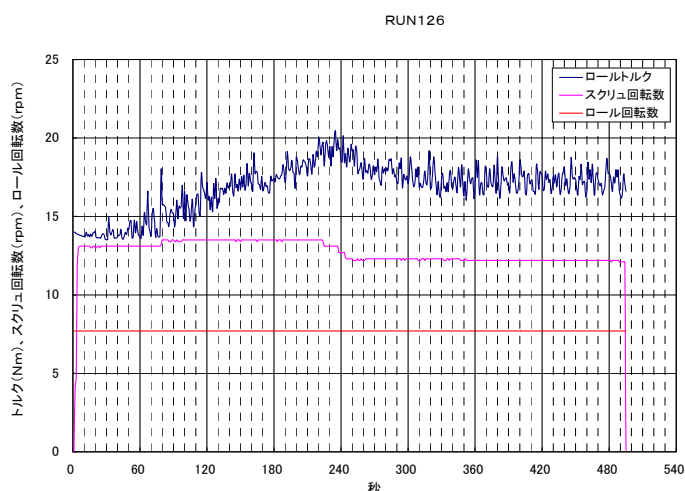


図 2.1.1.2-21 成型能力試験 (ロール 8~7.5rpm)



写真 2.1.1.2-3 ペレット排出状況

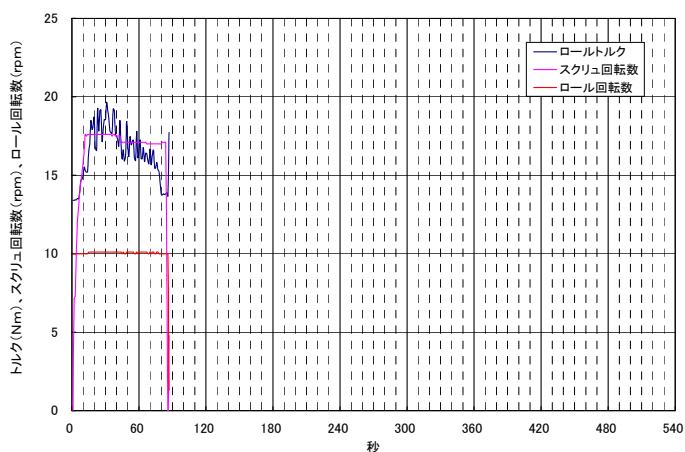


図 2.1.1.2-22 成型能力試験 (ロール 10rpm)

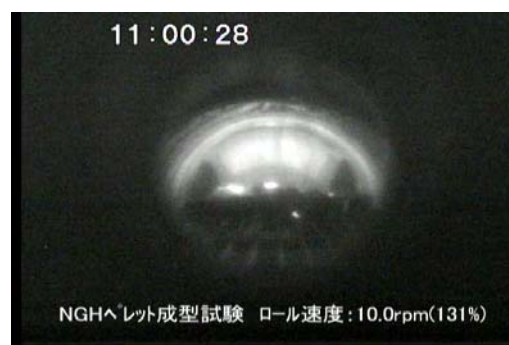


写真 2.1.1.2-2 ペレット排出状況

3) 試験結果の評価

成型運転で記述のようにペレット成型速度を直接測定することはできないが、定格ロール回転数以上での成型ができたことから、5 トン/日相当 (212kg/hr×24=5.1 トン/日) のペレット成型能力を有することを確認した。

iii. ペレット品質

ペレット分離器下流のペレット冷却槽に落下する手前でサンプリングしたペレットの NGH 率、ガス組成データを表 2.1.1.2-7 および図 2.1.1.2-23 に示す。ペレット NGH 率は初期 60~70% であるが、数時間で急速に低下し 30~40% で安定化した。

表 2.1.1.2-7 Z-403 入口ペレットの計測データ

No.	No. 1	No.2
初期NGH率	60.3%	73.7%
重量	—	2.37 g/個 (5個の平均)
密度	818.0 kg/m ³ (10個の平均)	843.0 kg/m ³ (下記の平均) (873.6, 832.2, 823.2)
組成 (C1/C2/C3 : %)	70.82/12.48/12.47	67.64/11.21/15.52
包蔵ガス分子量	23.071	24.338

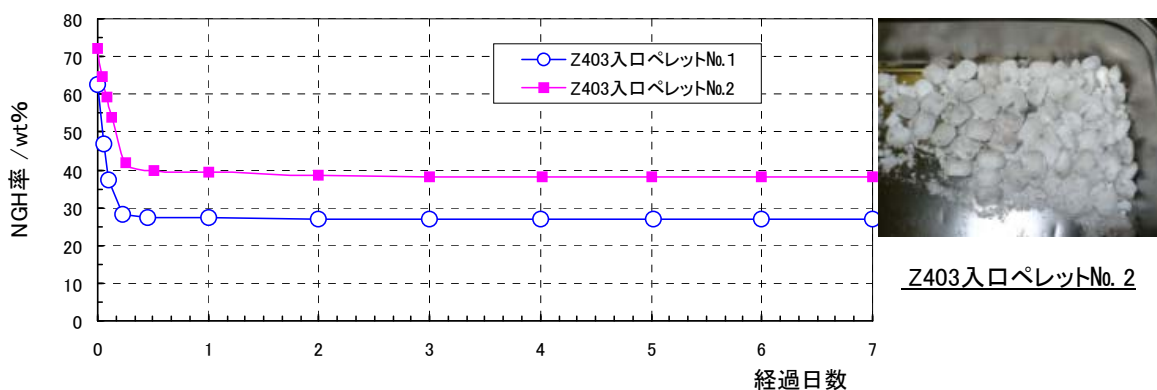


図 2.1.1.2-23 Z-403 入口ペレット NGH 率

(4) ペレット冷却・脱圧運転

i. ペレット冷却運転状況

Z-401 で成型されたペレットは、Z-402 でペレットの破片、バリ、未成型粉および水を分離した後 Z-403 (冷却槽) に供給される。Z-403 では、A-403 の 2 軸攪拌翼で 1rpm の緩速攪拌を行いながら、冷却槽の下部から -22℃ の冷却ガスを噴出させてペレットを直接冷却する。

ペレットを冷却して温度上昇した冷却ガスは、B-401 (循環ガスブロウ) により Z-403 のトップから吸引され、Z-403 の底部から供給する循環ラインを形成する。さらに循環ガスは、循環ラインの途中に設置したシェル&チューブ式熱交 E-401 (循環ガス冷却器) で冷却される。

E-401 ではチューブ側に循環ガスを流し、シェル側に -40℃ のプロパン液を流すことによって循環ガスを冷却している。

Z-403 におけるペレットの冷却時間は、図 2.1.1.2-24 に示す非定常熱伝導の計算結果から 30 分に設定した。運転では、Z-403 へのペレット連続投入、Z-403 からの連続払出しができなかったため、Z-403 にペレット投入後 30 分経過してからペレットの払い出しを行った。

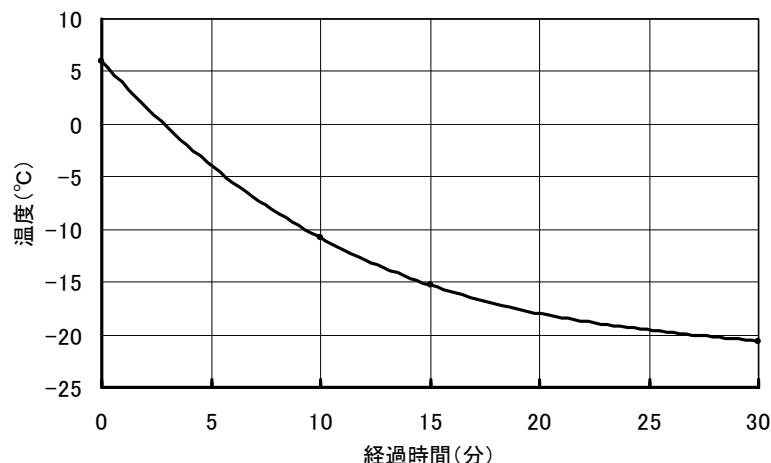


図2.1.1.2-24 ペレット中心温度の経時変化(計算結果)

ii. ペレット冷却性能

Z-403 で冷却したペレットは後述のように脱圧シーケンスで出荷設備側に払出され、D-603 (受入れホッパー)、Z-601 (垂直コンベア)、Z-602 (水平コンベア)、Z-604 (デストリビュータ) を経由してローリーに積込まれる。積込みの際に Z-601 と Z-602 の間に設置した 3 方弁を切り替えて、ペレットのサンプリングを行った。

ペレットの冷却性能を把握するため、サンプリングしたペレットを低温分析室に持込み、ペレット層に熱電対のプローブを差し込んでペレット温度を測定した。

ペレット温度の測定結果を表 2.1.1.2-8 に示す。

表 2.1.1.2-8 ペレット温度測定結果

測定 No.	Z-403 温度 (°C)	A-403 回転数 (rpm)	B-401			ペレット 温度 (°C)
			循環ガス流量 (kg/h)	出口温度 (°C)	E-401 出口 ガス温度 (°C)	
1	-20.8	1	2147	-18.8	-22.1	-24.0
2	-20.4	1	2122	-18.3	-21.2	-24.0

表 2.1.1.2-8 から Z-403 温度に対し、ペレット温度が低くなる結果が得られた。これは、脱圧シーケンスで 5.3MPaG から、0MPaG まで降圧した際の若干のペレット分解によってペレット自身が冷却したためと考えられる。

表 2.1.1.2-8 の結果から、Z-403 はペレットを脱圧後のペレットハンドリング温度である -20°C まで冷却する性能を有していることが確認できた。

iii. 脱圧シーケンス運転状況

Z-403 で冷却したペレットを脱圧シーケンスで大気圧まで降圧し払出しを行った。

脱圧シーケンスは、冷却槽下部に取り付けた底栓弁と称するピストン弁、D-501A/B(脱圧ドラム)の上下に設置した 4 基のボール弁の組合せで 2 系列 (A 系、B 系) 設置しており、A 系、B 系それぞれの底栓弁、ボール弁 6 基を圧力および時間シーケンスで作動して、回分式にペレットを払出す。各系列には①2 基のボール弁を閉止して D-501A/B を昇圧する「昇圧工程」、②底栓弁および D-501A/B の上方弁を開けて D-501A/B にペレットを受け入れる「受入工程」、③大気圧への払出しのために D-501A/B を減圧する「脱圧工程」、④D-501A/B の下方弁を開けて D-501A/B から出荷設備にペレットを払出す「排出工程」から構成されている。

ペレットの受入れなしで、弁の開閉操作と D-501A/B の昇圧、脱圧を行った脱圧シーケンス運転結果を図 2.1.1.2-25 に示す。図から A 系、B 系共に「昇圧」、「受入」、「脱圧」、「排出」工程を

260 秒で終了し、シーケンスが連続して作動しているのが分かる。

昇圧のための D-501A/B への供給ガス流量は 330kg/h であり、各工程での詰まりや A 系と B 系の工程が揃ってしまいう事象等はなく、安定な運転ができています。

iv. 脱圧シーケンスによるペレット払出量

表 2.1.1.2-9 に、大口需要家向けローリーに積込んだペレット量とその時の脱圧シーケンスによる払出し回数を示す。

ペレット量は、ローリーの空重量とペレット積載時重量をそれぞれ測定した結果に基づいている。また、脱圧シーケンス回数は、ローリー積込み運転時にバッチ操作で払出した回数を積算したものである。

表 2.1.1.2-9 ローリー積載重量と脱圧シーケンス作動回数

ローリー積載 ペレット重量	脱圧シーケンス払 出し回数 (A 系、B 系それぞれ積算)	シーケンス 1 回当た りのペレット払出 し量
370kg	48 回	7.7kg/回

表からシーケンス 1 回当たりの払出し量は 7.7kg となる。

図 2.1.1.2-25 から、シーケンスの 1 サイクル時間が 260 秒であり、この間に D-501A/B でそれぞれ 1 回払出されるので、1 時間当たりの払出し量は、以下となる。

$$7.7\text{kg} \times 2^{\text{回}} \times \frac{3600\text{秒}}{260\text{秒}} = 213\text{k g/h}$$

定格ペレット払出し量 208.3kg/h (=5 トン/日) < 213kg/h となり、脱圧シーケンスによるペレット払出し量は定格性能を有することが確認できた。

v. Z-403 入口配管での閉塞

今回の試運転において、ある程度長時間運転の後に図 2.1.1.2-26 に示す Z-403 の入口部において閉塞が発生している。

閉塞の原因は、Z-402 で分離できなかったバリ、未成型の粉およびペレットの一部が Z-403 の仕切り板状で凍結・堆積することによるものと考えられる。

Z-402 は常温雰囲気に対し Z-403 では -20°C の氷点以下雰囲気になっており、水分を含んだバリ、未成型粉、ペレットが Z-403 の仕切り板に接触した時に凍結することによる。

この位置での閉塞は、Z-403 下流へのペレット搬送が不可となり、長時間の連続運転ができなくなるため、仕切り板の温度を Z-403 の雰囲気温度より上げ気味にして、仕切り板での凍結時間を伸長することと、仕切り板に撥水材料を取り付けて堆積物のすべりを良くすることなどの対策を行うことが望まれる。

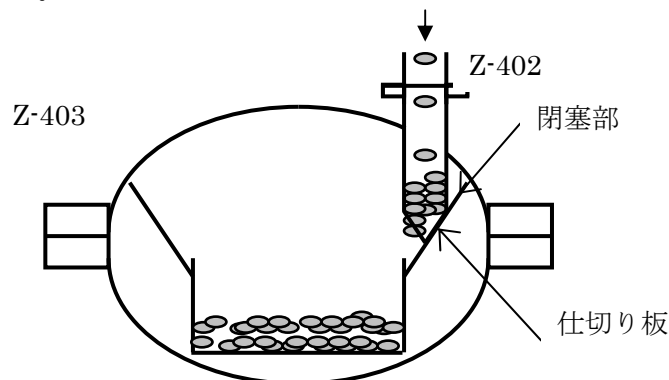


図 2.1.1.2-26 Z403 における閉塞

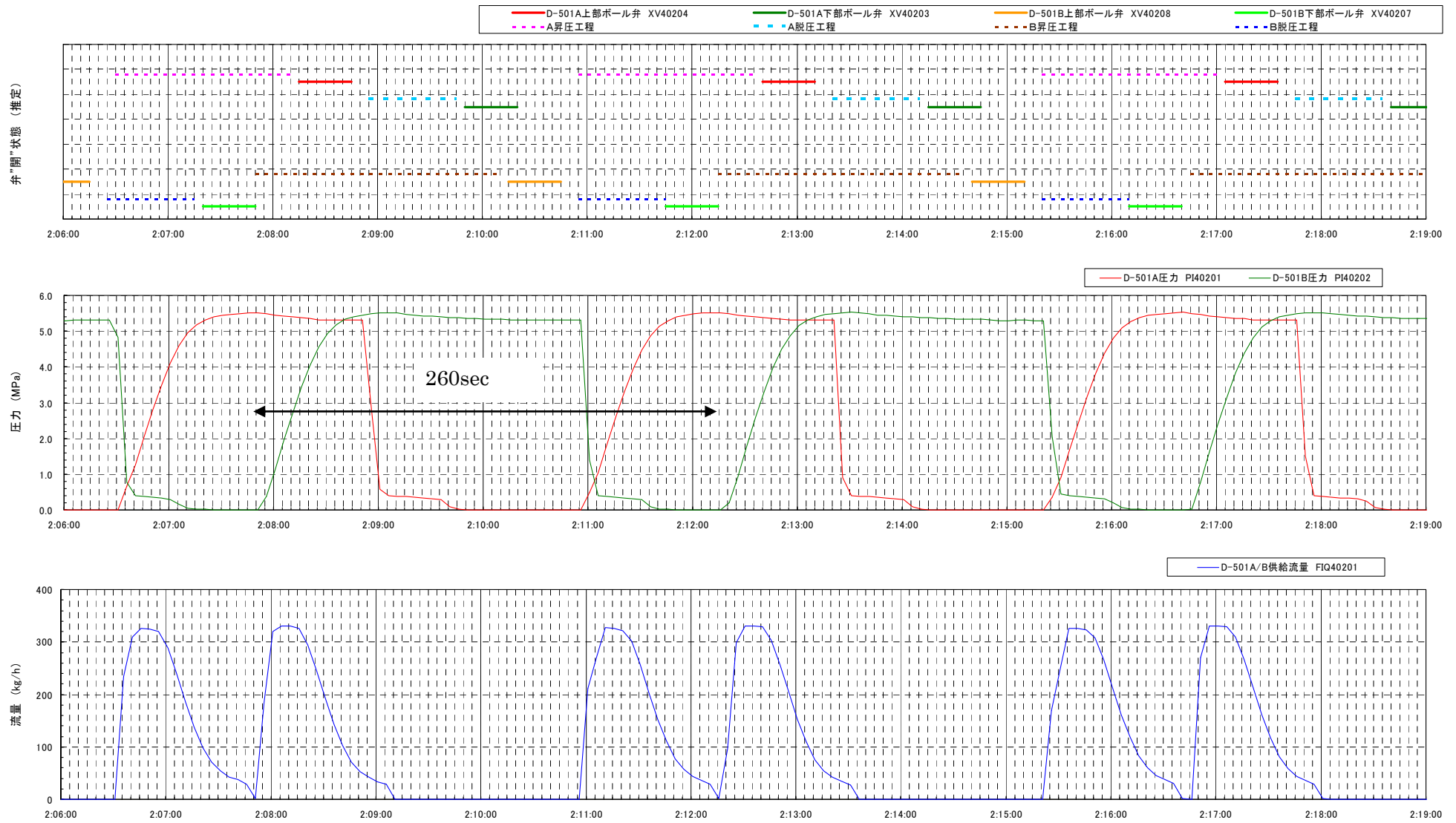


図 2.1.1.2-25 脱圧シーケンス運転結果 (ペレット受入なし)

(5) ペレット出荷設備運転

i. 出荷設備の運転

ペレット出荷設備はペレット温度 (-20℃) に合わせ、BR2 トレースによって-20℃前後に冷却される。系内への外気漏れこみを防ぐためベント系のシールポットにより+30～50mmAq に微加圧されている。

NGH 製造・出荷設備の脱圧槽から払い出されたペレットは、受入れホッパーD-603、定量コンベア Z-603、垂直コンベア Z-601、水平コンベア Z-602、ディストリビュータ Z-604 へと流れ、Z-604 以降は重力流で輸送コンテナに移送される。

ii. 試運転時の状況

試運転として小口需要家向けコンテナへの積込 1 回と大口需要家向けコンテナへの積込 2 回の計 3 回を実施したが、ペレット搬送量等の詳細を計測した小口需要家向けコンテナへの積込のうち 4 号容器の場合について以下に示す。

1) 主要機器の搬送条件

定量コンベア回転数	7.0rpm
垂直コンベアベルト速度	5m/min
水平コンベアベルト速度	5m/min

2) 計測方法 (写真 2.1.1.2-4 参照)

積込用容器を載せたトラックのタイヤ下面にロードセルを設置し総重量を計測した。ペレット脱圧槽からのペレットの払出しは 2 つの脱圧槽を交互に切り替えることで連続的に行なわれるが、試運転時においてはペレット供給量の関係でバッチ単位での払出しとなった。そのためバッチ毎に容器へのペレット積込が開始した時刻ならびに積込が完了した時刻について記録し、実際に積み込みに要した時間を算出した。

3) 搬送結果 (表 2.1.1.2-10 参照)

搬送回数	12 回
搬送量	208kg
搬送速度	最大 1,560kg/h (37.4ton/日) 平均 720 kg/h (17.3ton/日)

4) 結果の評価

総重量の増加量から計算される払出重量と実際に払い出した時間より算定した時間当たりの搬送重量について図 2.1.1.2-27 に示す。これによると定格払出速度 (5ton/日) に比べ 3 倍から 7 倍程度の搬送速度で十分な余裕をもっており、また当初設定した搬送速度とほぼ同様の結果となった。写真 2.1.1.2-5 に Z-602 のサイトグラスより撮影した水平コンベアシュート部での搬送状況について示す。なお搬送中にはコンベア関係の停滞等の不具合は発生しなかったが、垂直コンベアにおいてバケット取り付け部段差に載った小片ペレットや粉体がコンベア容器底部に滞留する現象がみられた。長期間運転時を考慮すると融解・排出できる機能が必要と考えられる。

iii. 出荷設備の自動化

出荷設備は安全性および省力化の観点から一部自動化運転可能なように設計されている。例えば Z-604 のディストリビュータは水平コンベアから受け取ったペレットを 6 方向に分配する機能を持っているが、その切り替えについてはコンテナ内部に設置されている満杯センサーの信号によりシーケンス制御にて行なわれる。また、Z-601 の垂直コンベアと Z-602 の水平コンベアの間設置してある三方弁は垂直コンベアのつまりセンサーと連動しており、閉塞などの緊急時には D-602 オフスペックペレット容器へのラインへ自動切り替えが行なわれる。なお、オフスペックペレットの処理についてはシーケンス制御による自動運転となる。

省力化の観点からいうと、例えば水平コンベアの場合、ガス浮上式コンベアが採用されており、ローラー等の省略により可動部を減らすことで信頼性およびメンテナンス性の向上を図っている。

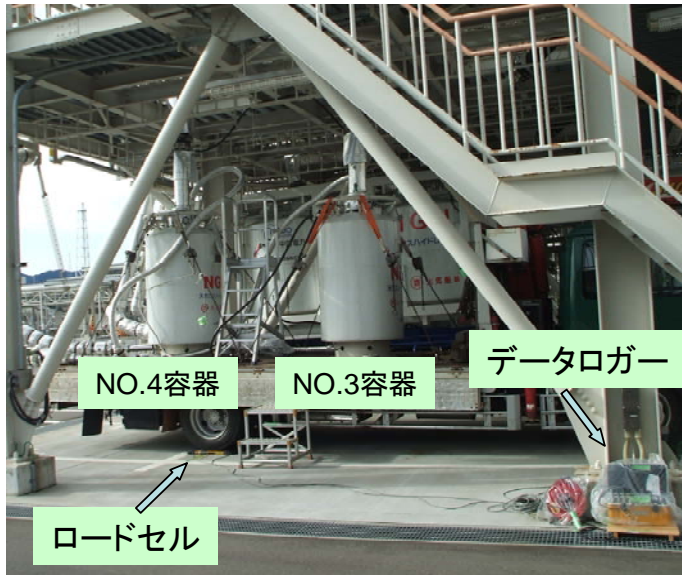


写真 2.1.1.2-4 計測要領



写真 2.1.1.2-5 搬送状況
(水平コンベアシュート部)

表 2.1.1.2-10 容器への積込状況

払回数	時刻	ロードセルの値(kg)	ペレット増加量(kg)	ペレット積算重量(kg)	時間間隔(S)	時間当たりの搬送量(kg/h)	備考
1回目	10:06	7,464	50	50	900	200	この間は5分毎に計測、最後の5分間の内3分程はロードセルの値が変わらない状態であった。
	10:11	7,476					
	10:16	7,506					
	10:21	7,514					
2回目	11:59	7,514	30	80	180	600	3分毎に計測。
	12:02	7,544					
3回目	13:33:30	7,544	26	106	60	1,560	3回目からは払出のネット時間から払出量を算定した。
	13:34:30	7,570					
4回目	13:46:10	7,570	12	118	70	617	
	13:47:20	7,582					
5回目	13:54:50	7,582	10	128	65	554	
	13:55:55	7,592					
6回目	14:56:00	7,592	10	138	60	600	
	14:57:00	7,602					
7回目	15:07:19	7,602	12	150	60	720	
	15:08:19	7,614					
8回目	15:17:33	7,614	12	162	67	645	
	15:18:40	7,626					
9回目	15:38:00	7,626	10	172	65	554	
	15:39:05	7,636					
10回目	15:44:50	7,636	12	184	61	708	
	15:45:51	7,648					
11回目	16:42:35	7,648	12	196	66	655	
	16:43:41	7,660					
12回目	16:49:16	7,660	12	208	66	655	
	16:50:22	7,672					

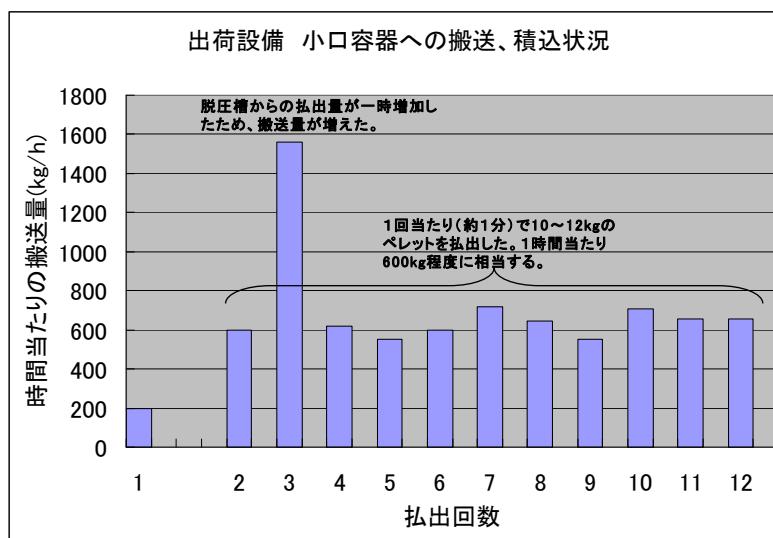


図 2.1.1.2-27 搬送、積込速度

iv. 輸送コンテナの冷却運転

1) 小口需要家向けコンテナ

小口需要家向けのペレット配送コンテナ（以下、小口容器と称する。）は、200kg/容器×2基で配送することで計画されており、ペレットの貯留、配送時におけるペレットの融解を低減するため、積載前に2基同時に予冷を行う。冷却はBR2の冷熱を用いてE-602, E-603熱交換器によりNGを冷却し、B-602ブロワにより循環運転をすることで行う。

予冷試験結果を図2.1.1.2-28に示す。図は、BR2温度、NG温度冷熱源となるBR温度、小口容器外表面温度、外気温を示している。循環冷却ガスであるNGは4時間程度でBR温度近くまで冷却される。容器温度は外気温の影響もあり、10時間経過後-8℃前後でほぼ頭打ちとなった。その後気温低下によって若干冷却が進むが外気温との温度差18℃前後で一定になっている。

冷却温度が-10℃前後から下がらない原因は、コスト低減化を目的として冷却ガス流路を融解水流路と兼用しているため、十分な冷却ガス流量が得られず容器入口までにガス温度が上昇することが考えられる。

2) 大口需要家向けコンテナ

大口需要家向けのペレット配送コンテナ（以下、ローリーと称する。）は、縦型円筒容器2基の型式（5トン積載）と横置円筒容器1基の型式（7.5トン積載）の2種類ある。なお予冷要領については小口需要家向けコンテナの場合と同様である。

横置円筒計器（3号車）の予冷試験結果を図2.1.1.2-29に示す。小口容器に比べ、容器本体の冷却速度は緩やかとなっているが冷却温度はより低くなり、また外気の影響が小口容器に比べ小さい。なお、図の途中でNG温度が高くなっているが、この前後で冷却を中断していたためである。

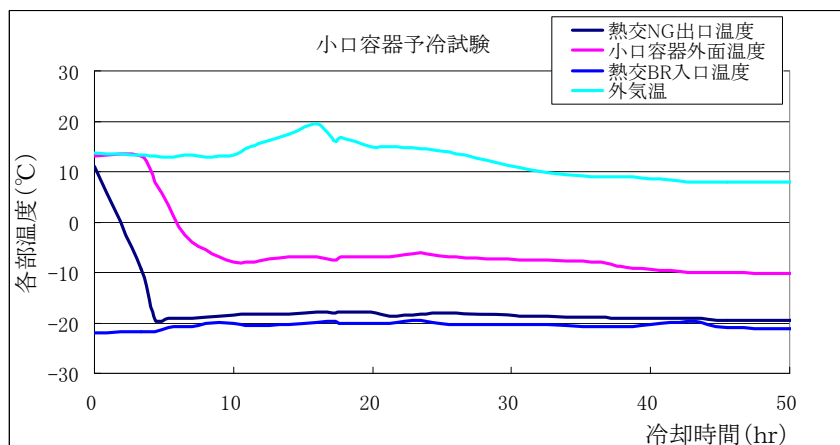


図 2.1.1.2-28 小口容器予冷試験結果

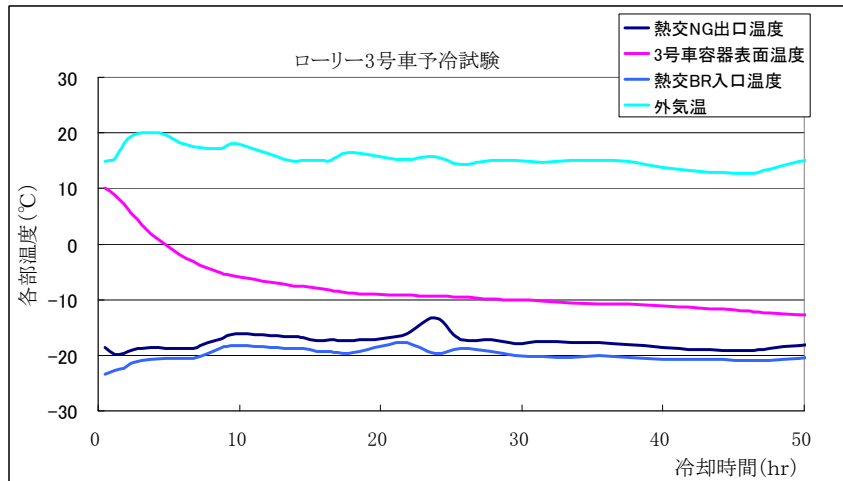


図 2.1.1.2-29 ローリー予冷試験結果

(6) まとめ

i. 設備製造能力について

NGH 製造設備は、NGH 生成、脱水、成型、冷却、脱圧の各工程で構成されている。試運転時に明らかとなったペレット排出時の閉塞現象のため設備全体としての製造能力の確認はできなかった。このため、各工程の主要機器に定格処理能力(ペレット製造 5 トン/日)があるかどうかを確認した。

生成工程では、NGH 生成能力試験を行い定格処理能力に相当する NGH 生成が可能であることを確認した。

脱水工程は生成されたスラリーの NGH 濃度を上げてパウダーとする工程であり、直接的に製造量を決める工程ではないが、計画値である NGH 率 40%のパウダーを得ることができた。

成型工程では、KP 装置ペレット製造能力試験を行い、下流閉塞のため短時間ではあるが、定格処理能力を有することを確認した。

冷却工程も直接的に製造量を決める工程ではなく、冷却ガス循環流量は確保されていることから特に冷却不足になることはないと考えられる。

脱圧工程では、加圧→ペレット受入→脱圧→ペレット払出、の繰り返しとなる。試験では加圧時間を計画よりも長くとする必要が生じたが、この場合でも払出量は定格処理量に対し余裕のあることが確認できた。

以上により、各工程の主要機器能力は定格処理能力を有することが確認された。

ii. ペレット品質について

ペレット品質は計画値である NGH 率 75%に至らなかった。この原因としては断続運転に伴う脱水塔パウダー性状の変化、重質分の多いペレットであるといった幾つかの要因が考えられる。

一方、今回装置と同様プロセスである三井造船(株)千葉事業所のベンチスケール試験装置では計画値である NGH 率が達成されているため、今後これらの要因、運転条件を比較・検討することで計画値である NGH 率を達成することが重要な課題となる。

iii. ペレット閉塞について

ペレットの閉塞は、ペレット分離器部と冷却槽入口ノズル部で生じている。ペレット分離器部の閉塞は機械的な形状要因であり、冷却槽入口ノズル部の閉塞は形状要因とペレット温度および雰囲気温度が氷点を超えて変化することに起因すると考えられる。今回装置では高圧ガス設備であり機器改造が期間的に困難であったことから根本的な対策がとれなかったが、低温の固体ハンドリングに関する貴重な経験を得ることができた。

2.1.1.3 需要家向けペレット製造・出荷運転

本節では、小口需要家向けペレット、大口需要家向けペレットの製造・出荷設備運転における設備運転安定性、ペレット品質、エネルギー投入量、LNG 冷熱回収率、既存発電所への影響について報告する。

(1) 運転結果

i. 運転経緯

小口需要家向けペレットおよび大口需要家向けペレットの製造・出荷設備運転の経緯は以下に示すとおりである。

1) 小口需要家向け運転

- ① 設備昇圧、製造系及び出荷系の設備冷却、生成器、脱水塔温度調整等を行う。
また、ペレット配送用小口容器は、予め輸送用トラック荷台に乗せた状態でペレット投入管を接続しておきペレット投入前までに冷却ガスを循環して容器内を冷却した。
- ② NGH 生成平衡温度以下に生成器液温を下げて生成開始。
なお、生成器気相ガス、循環スラリーを適宜サンプリングして平衡温度、ガス組成、NGH 率等を測定した。
- ③ 脱水は、最初は T-201A にスラリーを送液し、生成器気相組成がほぼ安定したら T-201B に切り替える運転とした。
NGH ベッドが脱水塔上部に達し脱水パウダーを成型系へ払い出し成型開始。
- ④ 成型は KP 装置下流のペレット分離器および下流でのペレット詰り現象が生ずるため断続運転で行った。この間の NGH 生成は中断し維持運転とした。
- ⑤ ペレット冷却槽内のペレットは脱圧槽で脱圧し、出荷系搬送機器から小口容器に投入した。ペレット投入前後ではペレットをサンプリングして組成、NGH 率等を測定した。
- ⑥ ペレット冷却槽入口配管部での閉塞のため運転を停止し、これまでに積載したペレット (236kg) を小口需要家へ配送した。
NGH 生成開始から運転停止までの連続運転時間は 87 時間 (維持運転を含む) であった。

2) 大口需要家向け運転

- ① 小口向けと同様に、昇圧、温調等を行う。脱水塔は生成試験時のベッドを保持した状態とした。
大口向け配送ローリー車は 3 号車を用いた。
- ② NGH 生成平衡温度以下に生成器液温を下げて生成開始。サンプリングを行った。
- ③ 脱水塔ベッドを保持していたが、保持時間が長くスクリーン部での閉塞があったため、一旦ベッド融解操作を行ったのち、生成を再開した。
- ④ 成型は小口向けと同じくペレット分離器および下流での詰りの解除を行いながらの断続運転であった。
- ⑤ ペレット冷却槽入口配管部での閉塞のため運転を停止し、約 370kg のペレットを大口需要家へ配送した。
NGH 生成開始から運転停止までの連続運転時間は 92 時間 (維持運転を含む) であった。

ii. 設備運転安定性

運転中における各工程の異常有無、運転安定性等について記載する。

1) LNG 冷熱回収系

- ① LNG 基地から受け入れる LNG の圧力は、小口需要家向けペレット製造時 3.87～

4.22MPaG, -154~-152°C、大口需要家向けペレット製造時 3.87~4.29MPaG, -153~-152°Cであった。圧力は若干変動あるが温度はほぼ一定であった。受入れ LNG 圧力の変動は下流側の圧力・流量変動となるため、LNG ポンプ入口の圧力制御弁でほぼ一定圧となるように制御されており、安定した運転が可能であった。

- ② 受け入れた LNG の冷熱は熱交換器 E-101、E-102A/B 及び E-104 で回収され、ガスとなって大半は NG 母管に返送される。返送ガスは、3.31~3.20MPaG, 11.5~14.7°C であり安定した運転であった。ガスの一部は NGH 原料ガスおよびペレット脱圧時の脱圧槽昇圧ガスとして供給される。昇圧時のガス供給流量が多いと系統全体の圧力変動となるため、昇圧速度を 1 分程度に制御することで安定運転ができた。
- ③ LNG 冷熱は中間冷媒系 (Ref1, Ref3)、ブライン系 (BR1, BR2) を経て各ユーザーに供給されている。運転開始時には、BR1 ユーザーと BR2 ユーザーとの冷熱負荷が変わるため、E-101、E-102A/B の熱交換量を変える必要があり、中間冷媒系の熱交換器液面設定値の手動設定、ダミー負荷運転によって安定運転ができたが、中間冷媒温度や BR 温度が安定するまでには数時間がかかった。連続運転時は各ユーザーの冷熱負荷はほぼ一定であり安定した運転であった。

2) NGH 生成・脱水系

- ① 生成系運転では、冬季の外気温低下による循環ガスラインの閉塞等が発生したが、当該ラインの温水トレース設置によって安定運転ができた。但し、飛沫同伴はあるため定期的に液の抜き出し操作を行う必要がある。
- ② 成型運転を継続していると、NGH 生成熱を除去する循環水冷却器(E-201)での NGH 生成に伴って徐々に伝熱性能の低下が生じてくる。運転では冷却性能の低下あるいはポンプ吐出圧の上昇をみて、一旦生成運転を中断 (BR の通液停止) し、伝面部の融解操作を行って生成運転を再開した。生成中断中の脱水塔以降の下流設備は圧力・温度を保持する維持運転とした。
- ③ 脱水塔ではスラリー中の水分を除去するスクリーンでの閉塞が生じやすい。このため、定期的にスクリーン部に循環ろ液をかけて閉塞を防止し安定運転を図った。

3) ペレット成型・冷却・脱圧系

- ① ペレット成型は成型ロール軸にかかるトルク値を一定範囲になるように、ロール回転数とパウダーを送り込むスクリー回転数との比を調整して運転を行う。成型開始時には粉体が多いが、安定した運転ができた。
- ② 成型器下流のペレット分離器部およびその下流ではペレットおよびペレット破片が堆積したため、堆積状態をみて成型を中断した。ペレット分離器にはエアノッカーがあり、この効果によって堆積物が徐々に解消される。解消後に成型を再開する断続運転を実施した。
- ③ ペレット冷却槽では循環ガスによってペレットが冷却される。一定時間(30 分以上)冷却したペレットは脱圧槽に払いだされて大気圧まで脱圧されて出荷設備コンベアに落下する。ペレット冷却、払出し、脱圧の各運転は安定した運転であった。
- ④ ペレット冷却槽入口配管部は、高温部から低温部に移行する境界になるため、NGH 生成条件下であるとともに、上流の気相中水分、ペレット同伴水が混じりやすい環境にある。これとペレットの入口配管部でのペレット堆積とが相互作用し、閉塞現象が発生した。この解消にはペレット冷却槽を昇温する必要があるため、運転を停止した。

4) 出荷設備

- ① ペレット搬送の定量ホッパー、垂直コンベア、水平コンベア、ディストリビュータの各機器運転は安定した運転であった。ペレットに同伴する粉体分や搬送中にこぼれたペレットがコンベア内部に溜まるが特に問題なく運転できた。

- ② オフスペックペレット融解、持帰りペレット融解処理運転は問題なく運転できた。
- ③ 配送容器（小口容器、大口用ローリー車）の冷却では、冷却ガス循環ライン圧力損失が大きいため所定流量による循環ができなかったため、冷却到達温度が計画値より高めとなった。
- ④ 容器冷却温度が計画値より高めであったため、念のため配送前に内部温度・圧力上昇程度を計測し、圧力上昇がほとんど見られないことを事前に確認した。

iii. ペレット品質

1) ペレット NGH 率

小口需要家向けペレットの NGH 率変化を図 2.1.1.3-1、大口需要家向けペレットの NGH 率変化を図 2.1.1.3-2 に示す。

初期 NGH 率は、小口向け 30～50%、大口向け 40～60%であるが、いずれも急速に低下し、ほぼ半日で安定化して小口向け 15～30%、大口向け 10～20%となり、初期 NGH 率が高い方が、安定化時 NGH 率は逆に低い数値となっている。

2) ペレットガス組成

ペレットのガス組成を表 2.1.1.3-1 に示す。

組成からみると、定常状態（原料組成に近い状態）になっておらず、メタン濃度はいずれも 70%前後であり、運転時間経過によって原料組成側へメタン濃度が上がる傾向がみえる。これらの要因としては、以下が挙げられる。

- ① 成型器に送られる脱水塔内の NGH ベッドは、NGH 生成初期のものが上部にあり成型も初期組成のものとなる。
- ② 脱水塔気相部はほぼ原料組成であるが、この気相部温度は 20℃前後であり一方、NGH ベッドは 10℃以下であるため、気相とベッドとの界面では NGH 融解と NGH 生成が、気相部濃度に対応して生じていることが考えられる。

表 2.1.1.3-1 ペレットガス組成

サンプル		ガス組成 (%)					分子量
		CH4	C2H6	C3H8	i-C4H10	n-C4H10	
小口需要家向けペレット	成型累計2hr	69.76	12.13	14.74	2.57	0.80	23.30
	成型累計3hr	69.74	12.17	14.75	2.53	0.81	23.29
	成型累計4hr	71.52	12.11	13.18	2.37	0.82	22.78
		71.27	12.12	13.36	2.43	0.82	22.86
成型累計8hr	74.61	11.12	11.04	2.43	0.79	22.06	
大口需要家向けペレット	成型累計6hr	68.97	12.41	14.83	2.94	0.85	23.54
	成型累計10hr	69.63	13.33	13.72	2.42	0.89	23.16
	成型累計18hr	71.93	12.71	12.52	2.00	0.83	22.53

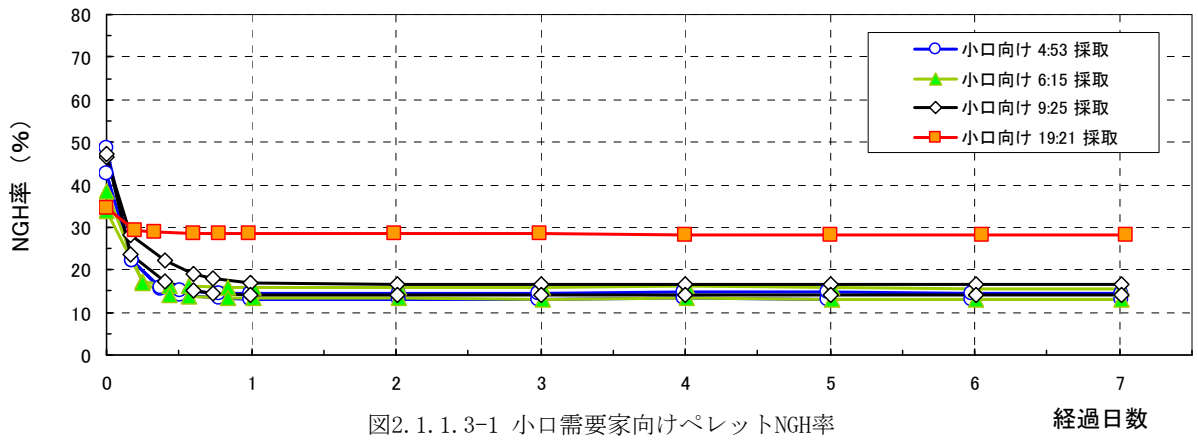


図2.1.1.3-1 小口需要家向けペレットNGH率

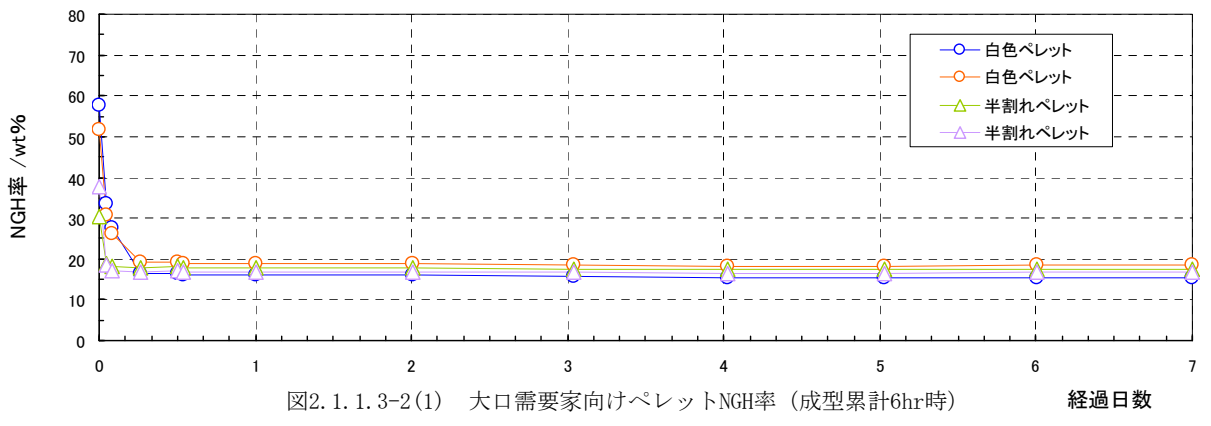


図2.1.1.3-2(1) 大口需要家向けペレットNGH率 (成型累計6hr時)

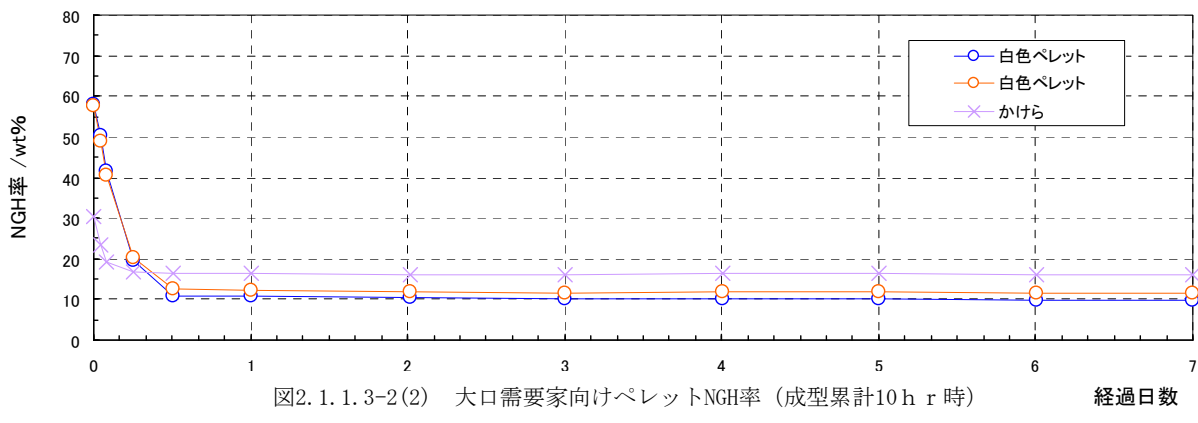


図2.1.1.3-2(2) 大口需要家向けペレットNGH率 (成型累計10hr時)

iv. エネルギー投入量

1) 運転時のエネルギー投入量

NGH 生成開始から運転停止までの間に使用された平均エネルギー量を下表に示す。

表 2.1.1.3-2 エネルギー投入量

	電力	スチーム	計
小口需要家向けペレット製造出荷運転	116.3 kW	49.3 kg/h(169°C) =28.1 kW	144.4 kW
大口需要家向けペレット製造出荷運転	117.6 kW	33.7kg/h(169°C) =19.2 kW	136.8 kW

スチームは約 0.7MPaG の飽和蒸気でこの潜熱を温水に変えて、閉塞防止のための機器・配管温水トレースや BR 1 系のダミー負荷 (max.40kW)、戻り NG の加温(7kW)等に利用しているため季節変動(外気)要因が高い。小口需要家向け運転時のスチーム使用量が多いのは外気温の違いが大きい。

電力の内訳は運転状態によって若干異なるが、おおよそ下表に示す割合であった。

表 2.1.1.3-3 各系統の電力使用量割合

設備名	設備使用量	稼働率×使用量	割合	備考
LNG/冷熱回収系	70.3kW	60 kW	52%	ダミー負荷を含む
NGH 製造系	35.2kW	35 kW	30%	
出荷設備	7.3kW	7 kW	6%	
共通設備	19 kW	14 kW	12%	IA、計装、分析室等
合計		116 kW	100%	稼働率は推定含む

2) 定格運転時のエネルギー量推定

定格運転(NGH 率 75%ペレット 208kg/h)とした場合、上記のエネルギー140kWは0.67kW/kg-ペレットに相当する。一方、NGH 率 75%ペレット 1kg の理論ガス包蔵量は 0.12kg 前後である。したがって、電力使用量は約 4.7kW/kg(包蔵ガス)に、スチーム使用量は 0.8~1.1kW/kg(包蔵ガス)に相当する。その内 1/2 は冷熱回収系である。今後、設備の簡素化、閉塞対応に伴うエネルギー消費を低減する必要がある。

v. LNG 冷熱回収率

1) 冷熱回収率の定義

ここでは、冷熱回収率を以下に定義する。

設備利用冷熱回収率 = (設備で利用された冷熱量) / (LNG 保有冷熱量)

ペレット製造冷熱回収率 = (プロセス利用冷熱量) / (設備利用冷熱量)

LNG 保有冷熱は冷熱回収設備 E-104 熱交換器までの熱量とする。

2) LNG 保有冷熱量および設備利用冷熱量

冷熱回収系の LNG 流量、温度を表 2.1.1.3-4, 表 2.1.1.3-5 に示す。

表 2.1.1.3-4 小口需要家向けペレット製造運転時の冷熱利用

対象箇所	平均流量 (kg/hr)	平均圧力 (MPaG)	平均温度 (°C)	LNGエンタルピー kW/(kg/h)	熱量 (kW)	冷熱量 (kW)	備考
LNGポンプ入口	1094.4	4.09	-153.1	0	0.0	—	エンタルピー0とする。
LNGポンプ出口		5.97	-137.1	0.0144	15.8	15.8	①Lポンプでの損失
E101入口	493.1	5.51	-72.2	0.0850	7.1	34.8	②E101回収冷熱
E101出口 /E102A/B入口					41.9		
E102A/B出口					95.9		
E104入口	457.1	5.46	5.3	0.1944	88.9	3.3	④E104入口ガス減少による損失
E104出口 (FT10301)					94.0	5.1	⑤E104回収冷熱
保有冷熱(Σ①~⑤)						113.0	
設備利用冷熱(②+③+⑤)						93.9	

表 2.1.1.3-5 大口需要家向けペレット製造運転時の冷熱利用

対象箇所	平均流量 (kg/hr)	平均圧力 (MPaG)	平均温度 (°C)	LNGエンタルピー kW/(kg/h)	熱量 (kW)	冷熱量 (kW)	備考
LNGポンプ入口	1024.6	4.10	-152.7	0	0.0	—	エンタルピー0とする。
LNGポンプ出口		6.11	-135.9	0.0152	15.6	15.6	①Lポンプでの損失
E101入口	516.7	5.49	-67.0	0.0943	7.9	40.8	②E101回収冷熱
E101出口 /E102A/B入口					48.7		
E102A/B出口					99.7		
E104入口	439.8	5.45	3.0	0.1929	84.8	7.8	④E104入口ガス減少による損失
E104出口 (FT10301)					89.5	4.7	⑤E104回収冷熱
保有冷熱(Σ①~⑤)						119.9	
設備利用冷熱(②+③+⑤)						96.5	

3) プロセス利用冷熱量

表 2.1.1.3-4 及び 2.1.1.3-5 より、設備利用冷熱回収率=80.5%~83.0%と計算される。

一方、ペレット製造に直接利用される冷熱は、生成系での循環水熱交換器(E-201)、フィード水冷却器(E-202)およびペレットクーラ熱交換器(E-401)であるが、ペレット製造運転が断続運転であったことからプロセス利用熱量を比較してもあまり意味がない。そこで、運転の結果から明らかとなった冷熱負荷増大(機器入熱の増大、閉塞防止温水トレース追加による増大)を加味して、その冷熱所要量と所定量ペレット製造に要する冷熱量との比を検討した。各冷熱所要量を表 2.1.1.3-6 に示す。

表より、機器入熱増大+加温トレース等による入熱増大を加味した場合、ペレット製造冷熱回収率=(40.0)/(126.6)=32%と算定される。

この冷熱回収率は、冬季の配管閉塞の対策による入熱削減(循環ガス、ろ液循環系統の簡素化)、機器入熱の大きい BR 系ポンプ型式の変更といった改善策を講じることにより当初計画値である 40%程度には改善可能と考えられる。

さらなる改善のためには、冷熱回収系の簡素化・効率化検討。製造設備の簡素化(ポンプ数削減、ライン系統の簡素化)が必要である。

表 2.1.1.3-6 所要冷熱量

[kW]

系統	当初計画値				運転結果			
	プロセス	機器入熱	外部入熱	小計	プロセス	機器入熱	トレース +外部入	小計
生成系	30.5	1.9	1.0	33.4	30.5	4.8	5.5	40.8
脱水系	-	1.0	1.7	2.7	-	0.8	9.2	10.2
成型系	-	0.4	1.6	2.0	-	0.2		
冷却脱圧系	9.5	10.3	1.3	21.1	9.5	5.3	1.4	16.2
出荷系	-	9.8	-	9.8	-	9.8	-	9.8
REF1,3系	-	2.2	4.2	6.4	-	3.0	4.2	7.2
BR1,2系	-	20.8	5.5	26.3	-	37.1	5.5	42.6
合計	40.0	46.4	15.2	101.6	40.0	61.0	25.8	126.6

*1)機器入熱は試運転時の機器入熱見直し結果を示す。

*2)トレース+外部入熱は閉塞に伴う循環ガス・ろ液加温及び温水トレース追加の入熱増加を含む。

vi. 既存発電所への影響確認

既存発電所とは供給 LNG、戻り LNG、戻り NG の各母管との取合い点がある。

既存発電所側の母管圧力、温度トレンドならびにこれに該当する同時刻の NGH 設備側圧力、温度トレンドを図 2.1.1.3-3 に示す。これらを比較すると特に相関関係はみられず、NGH 設備運転による発電所への影響は無いと考えられる。

(2) まとめ

NGH 製造出荷設備の一貫実証運転では、ペレット分離器部、ペレット冷却槽入口部での閉塞現象が生じたため定格運転はできなかったが、維持運転を含め 72 時間以上の連続運転を行い、設備運転安定性の確認、ペレット品質データ、エネルギー投入量データ、LNG 冷熱利用データの取得、既存発電所への影響確認を行った。

- ① 設備運転安定性確認では、一部維持運転を行いながらペレット閉塞の解消、スラリー熱交換器伝面の NGH 付着解消操作等を実施する必要があったが、ペレット冷却槽入口閉塞まで間、安定的な運転ができた。
- ② ペレット品質は計画値の NGH 率とはならなかった。今後、NGH 率向上のための運転方法および設備の検討が必要である。
- ③ エネルギー投入量では冷熱回収系でのエネルギー使用量が多い。冷熱回収系および NGH 製造系の効率向上が必要である。
- ④ LNG 冷熱利用でも冷熱回収系での冷熱損（機器入熱）が多く、今後改善が望まれる。また、冬季においては NGH 生成による閉塞防止のために温水トレースを設置したが、これも冷熱損となるため閉塞を考慮したライン構成、ルート検討が必要である。
- ⑤ 既存発電所への影響は特に認められなかった。

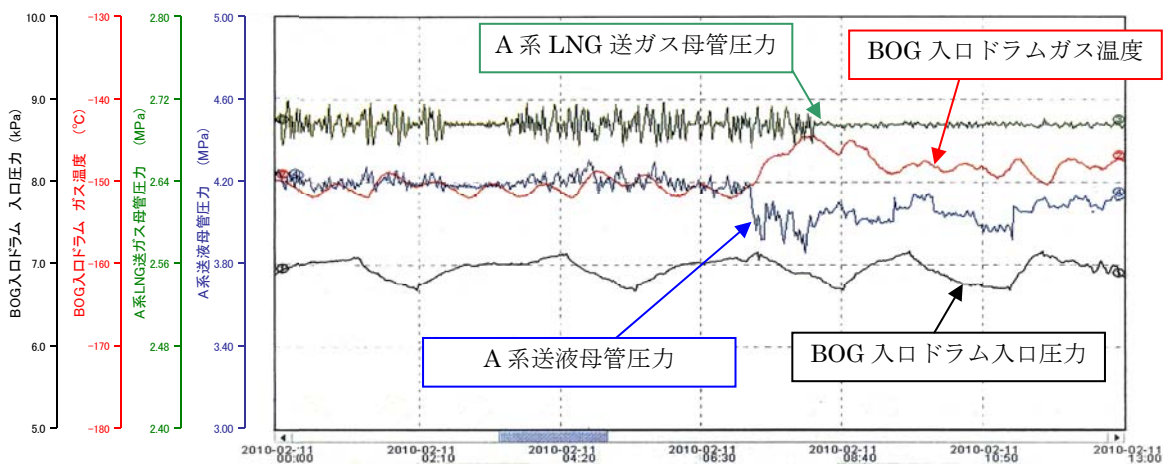
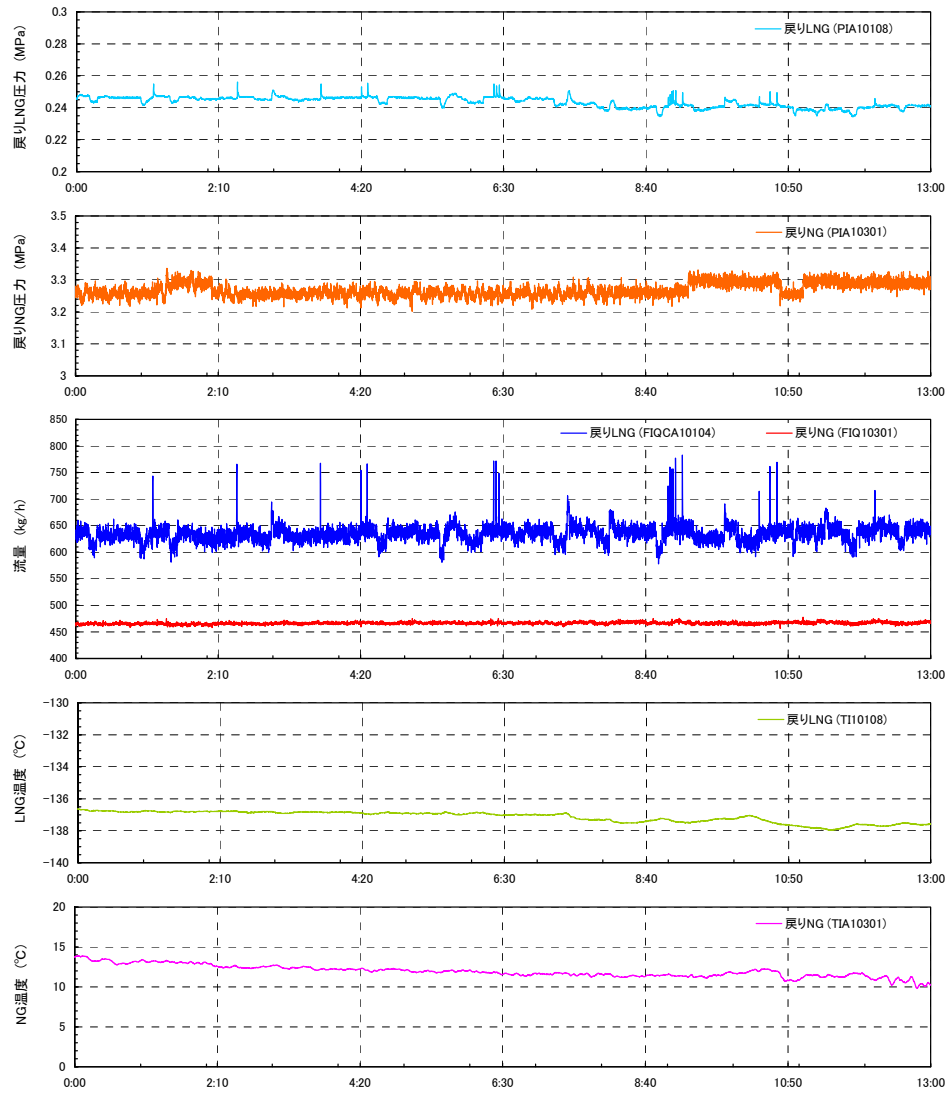


図 2.1.1.3-3 既存発電所との LNG/NG 取合い母管圧力、温度トレンド

2.1.2 その他の研究

これまでに報告した NGH 製造・出荷設備、配送・利用システムの研究と並び、今後の設備高度化を目指した研究を三井造船(株)千葉事業所において実施した。

2.1.2.1 連続冷却・脱圧システムの開発

(1) 概要

現状の脱圧プロセスは、高圧で生成・成型されたハイドレートペレットを弁切替式の脱圧装置（ロックホッパ）で大気圧下に取り出している（図 2.1.2.1-1）。このプロセスは固気条件での脱圧であるため、高圧ガスを脱圧時に同伴し、ガス圧縮エネルギーの損失を招いている。そこで、新たな脱圧プロセスとしてハイドレート圧密層によるマテリアルシールを利用した連続脱圧型の脱圧プロセスを検討する。

連続脱圧プロセスでは現状プロセスの単位操作（成型、冷却、脱圧）を一つのプロセスに集約する必要がある。実圧（5.4MPaG）でこのように複数の単位操作を伴う機器を製作することは、技術的に不明な点が多く困難である。そこで、特に重要と考えられるガスシール特性を把握することを目的として、要素試験装置を設計、製作し実験を行った。

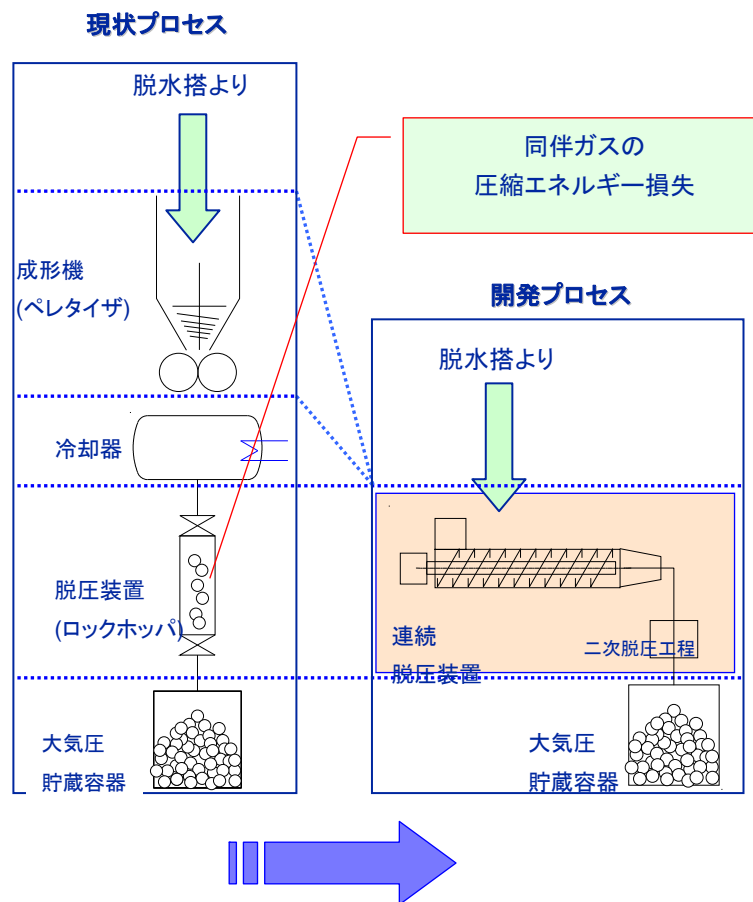


図 2.1.2.1-1 現状プロセスと連続脱圧プロセスの比較

(2) 実験装置と実験方法

図 2.1.2.1-2 に試験装置の本体図を示す。圧力容器内には臼があり、この臼にハイドレートを供給しピストンで荷重一定にて圧密層を形成する。ハイドレートに作用する圧縮圧は、油圧シリンダ入口油圧と高圧ガス容器内ガス圧の差として求めた。ピストン位置はピストンに取りつけたロ

ットの変位をワイヤゲージにて検出した。

実験時には、ピストン変位とハイドレート圧縮圧（以下、軸荷重）を同時に測定し、PC に温度、圧力の測定値とともに収録した。スラリーは生成器に水を 6L 張り込み、メタンにて昇圧、約 5wt% のハイドレートスラリーを生成する。臼内にスラリーを供給するため、装置本体を減圧し臼内にスラリーを満たす。次に下部ドレンを微開しドレンがなくなるまで水を排出する。この操作を臼上端にハイドレート層が目視できるようになるまで繰り返す。臼にハイドレート層が準備できた後、油圧シリンダを下降させ軸荷重を付加する。軸荷重はトグルスイッチにより、差圧付加が終了するまで一定荷重にて付加される。

ピストン先端がハイドレート層に達すると断続的にきしみ音が発生し次第にピストン変位が小さくなる。この期間を約 5 分継続し、その後、徐々に二次側圧力を減圧する。減圧にはダイヤフラム式の自力式減圧弁を用い、その下流に容積式流量計を設置しリークガス量を測定した。所定の差圧となるよう減圧弁を操作し二次側を減圧する。同一差圧を約 5 分間（又は、リーク流量が安定するまで）継続した。差圧付加試験終了後、ピストンを上昇させハイドレート層へ付加していた軸力を除く。その後、容器全体を -20°C まで冷却する。冷却後、臼を取り出し軸方向にハイドレート率を計測しその分布を求めた。取り出した圧密層の例を写真 2.1.2.1-1 にしめす。

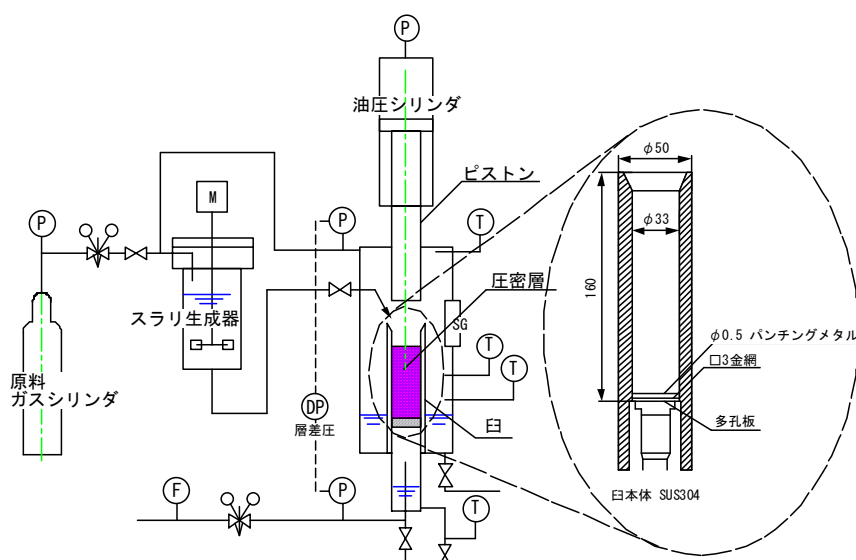
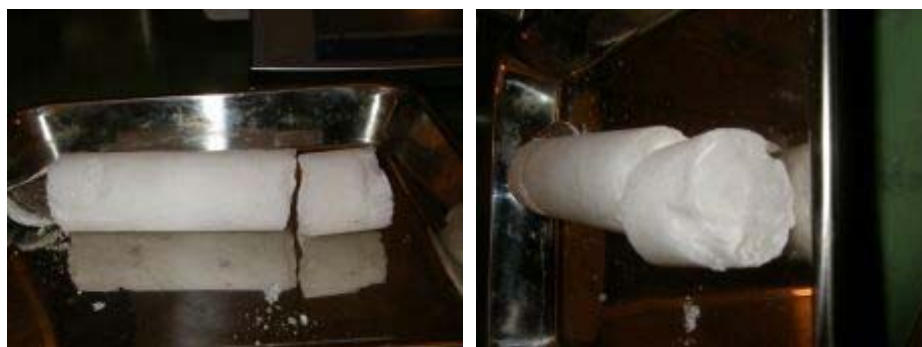


図 2.1.2.1-2 試験装置および臼詳細



(a) 全体的に白色

(b) 半透明な部分は壁面側

写真 2.1.2.1-1 圧密層の例 (Run9)

(3) 実験結果および検討

図 2.1.2.1-3 に、リーク量と層差圧の関係を示す。Run8 を除いて差圧と流量が比例しているが、このような特性では連続脱圧には適用できない。一方、連続脱圧では Run8 の特性が好ましい特性となる。一般には、粒子層を透過するガス差圧は層高と比例するが、本実験による結果からは層高による有意な差はない。

初期のピストン変位と時間の関係から、Run8 の層は、他の Run の層より大きく変形しても降伏点に達しないことが確認された。これは初期の水分量に関係しているものと考えられる。

ハイドレート層の圧縮が進むと、塑性域が下方に向かって広がり、弾性域が押しつぶされ塑性域になると考えられる。シール層として考えた場合、弾性域の歪が小さいため、粒界は塑性域に比べ大きくシール層としては不向きである。降伏点を超えた塑性域の層強度は急激に増し、従って、塑性域が層全体に広がるには非常に大きな軸荷重が必要と考えられるが、本実験での軸力程度では塑性域はあまり下方に広がらないのではないかと考えられる。Run8 では、粒子の再配置に伴う粒子同士の摩擦、粒子の壁面との摩擦が、粒界に水があることにより軽減され、軸荷重がハイドレート層に効率よく伝わり変形が大きくなる、又は塑性領域が下方に広がりやすくなると考えられる。Run8 ではその結果、塑性域が層全体に広がり粒子間の間隔が小さく、緻密な層が形成されたものと考えられる。

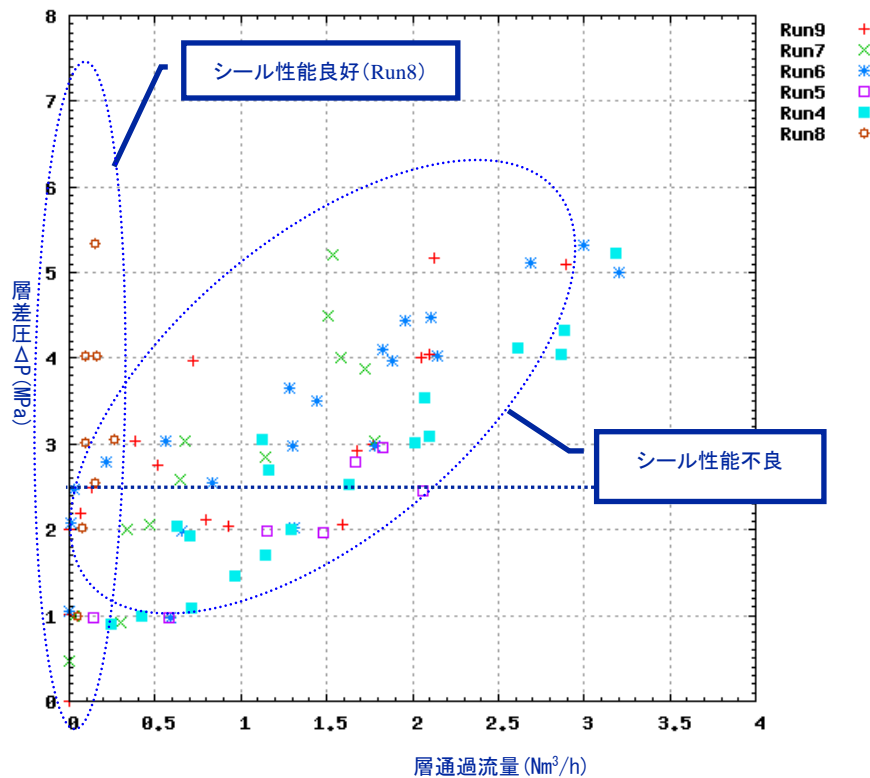


図 2.1.2.1-3 差圧とリーク量の関係

(4) 成果

実験から得られたプロセス適用条件を以下に示す。また、表 2.1.2.1-1 に現状プロセスとの脱圧同伴ガス量の比較を示す。

- 1) 粒界の水は液体であること。従って脱圧温度は氷点以下にしないこと
 圧密層の変形を効率的に行うため、粒界では液体の水が必要である。水がある場合、粒子間相互作用力の低下が粒子移動を容易にすると考えられる。

2) 圧密層成形温度 0.5℃ 以上であること

温度は高いほど粒子流動、圧密層形成には有利と考えられるが、同一生成圧条件では、脱圧差圧を大きく取るために低温操作が必要である。

3) 圧密層二次側は平衡条件であること

生成圧 5.4MPaG では出口圧力 2.9MPaG (0.5℃) まで脱圧が可能で、それ以上に二次側圧力を低くすれば、シール部である圧密層そのものが分解しシール層が急激に消耗する（製品品質が劣化する）。以上の条件から図2.1.2.1-4 に示す連続脱圧フローを考案した。操作条件は平衡図上に A⇒B で示す。

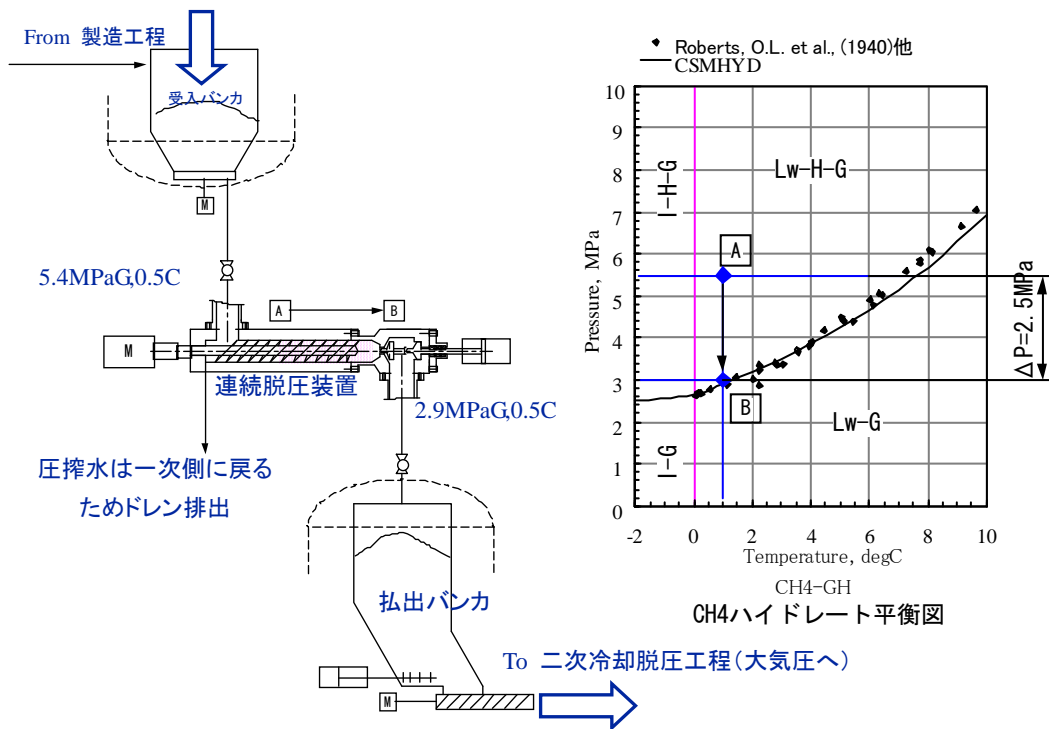


図 2.1.2.1-4 連続脱圧フロー

表 2.1.2.1-1 現状プロセスとの脱圧同伴ガス量の比較

	現状プロセス	本検討プロセス (連続脱圧)
ガス容積	充填率=0.55 空隙率=1-0.55=0.45	塊状になり充填率向上 ロックホッパ内に充填されるハイドレートを均一球形粒子群と仮定し最密充填した場合 空隙率=0.26
ガス密度	ロックホッパの一次側圧力は 5.4MPa(G) となる ロックホッパ内ガス密度= $0.717 \times (0.1+5.4) / 0.1$ =39.4kg/m ³	連続脱圧装置によりロックホッパの一次側圧力は 2.9MPa(G) となる ロックホッパ内ガス密度= $0.717 \times (0.1+2.9) / 0.1$ =21.5kg/m ³

単位体積当りの減圧ガス量	0.45×39.4=17.7kg/m ³	ロックホッパを同容量とした場合 ハイドレート充填率向上及びガス密度低下により 0.26×21.5=5.6kg/m ³
脱圧時同伴ガス削減量	100%	31.6% < 目標 50%

2.1.2.2 加圧脱水装置の開発

(1) 概要

NGH 製造システムの高性能化研究として、脱水塔のコンパクト化を目的とした差圧等の脱水駆動力を付加した新しい脱水塔を開発した。柳井の NGH 製造出荷設備の設計では、従来型の重力脱水に差圧を付加した「重力脱水+差圧」法（広義の加圧脱水法の一つ）を採用している。ここでは、脱水塔の更なるコンパクト化を目的として、差圧をハイドレート粒子層の毛管高さ以上に付加する「加圧脱水法」について継続的な研究を行った。三井造船(株)千葉事業所にある Bench Scale Unit（以下、BSU）を用いて脱水塔の差圧付加の適正条件（差圧付加量、脱水塔長さおよび構造等の適正化）の検索を行い、目標処理能力、NGH 率および連続運転制御性を確認した。

(2) 目標値

脱水塔システムにおいて、従来の重力脱水法に差圧等の付加的な脱水駆動力を加え（加圧脱水法）、処理能力を現状（NGH 製造出荷設備の計画値相当）の4倍以上に高めることを目標とした。

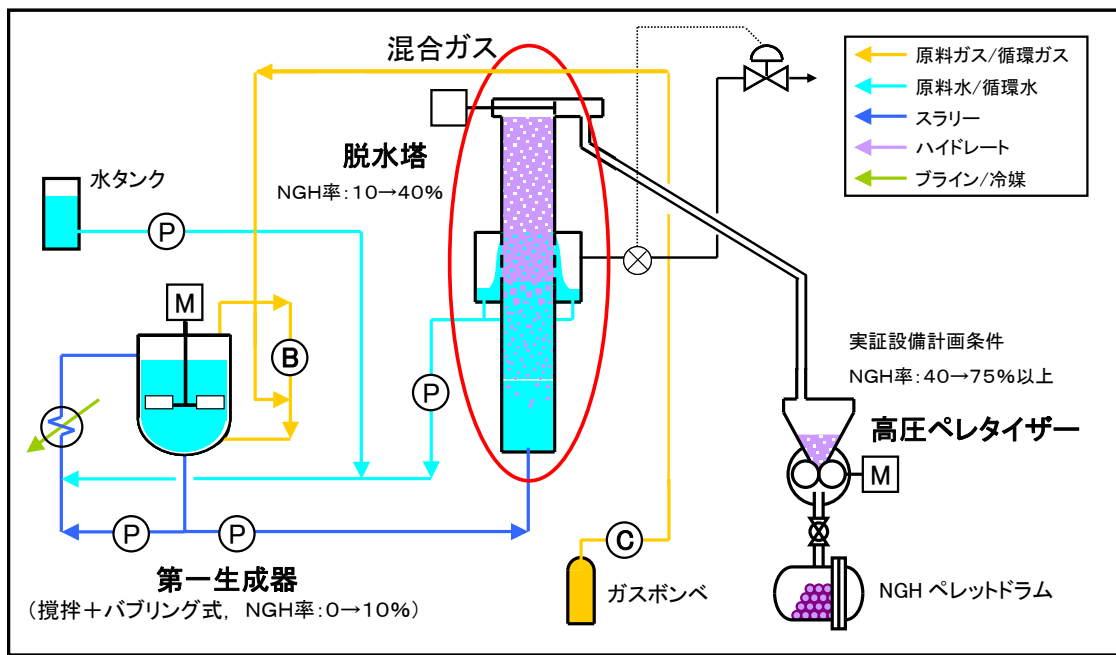


図 2.1.2.2-1 BSU の試験フロー

(3) 試験装置および実験条件

図 2.1.2.2-1 に BSU の試験フローを示す。生成器で生成された NGH スラリー（濃度 5～10%）はポンプにより脱水塔に下部から供給され、脱水塔内部を上昇する。脱水塔は中間部に設置された排水スクリーンによりスラリー中の水が排水され、濃縮された NGH が脱水塔内部を上昇し、脱水塔上部より NGH(パウダー)が排出される。実験条件を表 2.1.2.2-1 に示す。

表 2.1.2.2-1 実験条件

原料ガス	混合ガス (C1 : C2 : C3=90% : 6% : 4%)
生成器	圧力 5.4MPaG、温度 5~7℃ 循環水量 120kg/h、ガス循環量 1kg/h 攪拌回転数 400rpm、原料水 1.4~6.5kg/h
脱水塔	加圧脱水法
脱水部	230mm、300mm
排水部	高さ 42mm、84mm
駆動部	2,191mm
付加差圧	~3,500mmAq
スラリー供給量	17~26 kg/h
供給スラリー濃度	5.0~10.0%

(4) 実験結果

実験は、脱水塔へのスラリー供給を一定量で流し続け、脱水塔出口での単位時間当たりのパウダー量と NGH 率を評価した。図 2.1.2.2-2 に、「重力」、「重力+差圧」および「加圧」脱水における実験結果の比較を示す。従来の重力脱水方式の場合、脱水部長さ 2.8m で脱水塔出口での処理能力（脱水塔出口のパウダー量、以下、パウダー）は 0.38kg/hr となる。

柳井の NGH 製造出荷設備で採用した「重力脱水+差圧」方式では、脱水部長さ 1.4m、付加差圧 700~900mmAq において、処理能力 1.4kg/hr が得られた。この処理能力は、従来型の重力脱水に比べると 3.7 倍となる (1.4kg/hr ÷ 0.38kg/hr)。

今回着目した加圧脱水方式では、付加差圧を 2,000~3,500mmAq としてその効果を確認した。一例として、図 2.1.2.2-3 に加圧脱水方式における処理能力 5.6kg/hr 時の運転状況の経時変化を示す。この処理能力の運転では、脱水塔へのスラリー供給量を約 21kg/hr としている。付加差圧は運転開始時 (21:00) より段階的に上げ、約 4 時間半経過後 (1:30) より付加差圧 3,500mmAq とした。連続運転制御性の指標である供給スラリーのポンプ差圧 ΔP は、運転開始後 200kPaG を越えて上昇したが、その後は 140~150kPaG で推移した。一方、付加差圧を 3,500mmAq に設定すると、再び 200kPaG 以上に圧力が上昇する傾向がみられた。

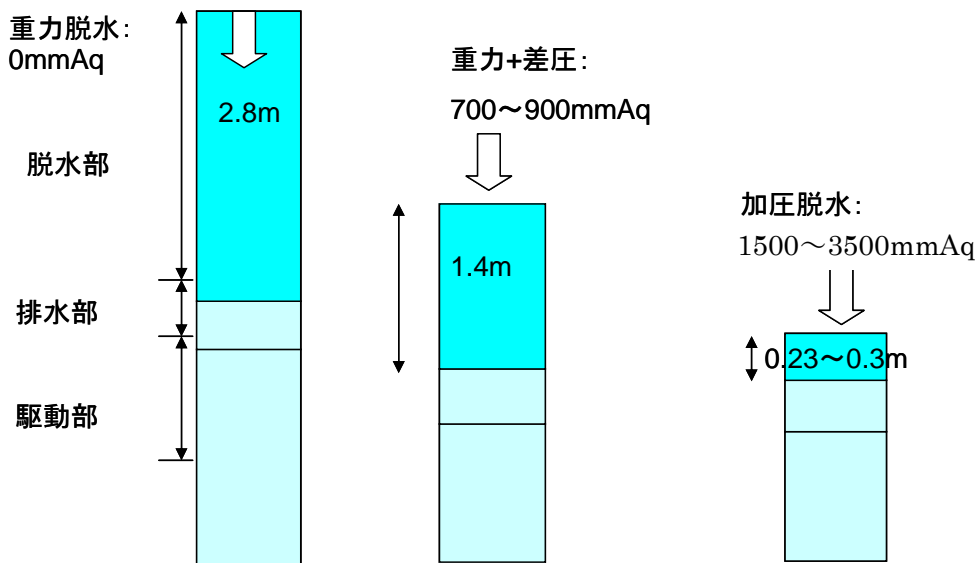
図 2.1.2.2-2 の実験結果から、加圧脱水の処理能力は付加差圧と共に増加し、脱水部長さ 0.23m、付加差圧 3,500mmAq とした条件で処理能力 5.6kg/hr となり、「重力脱水+差圧」方式の 4 倍の処理能力を確認した。NGH 率に関しては、「重力+差圧」の 51.6% に対して 36.5% (3,500mmAq 時) の低下したものの、パウダー量としては 4 倍の処理能力となり、下流にあるペレタイザにおいても良好なペレットの成型状態を確認した。

写真 2.1.2.2-1 に BSU 連続運転時のペレット取出し状況を示す。分析の結果、ペレットの NGH 率は 77% であった (供給パウダーは 36.5%)。また、2 週間貯蔵後の NGH 率とガス組成を評価したところ 75% であり高い安定性 (保存性) を確認した。さらに、図 2.1.2.2-4 に処理能力 5.6kg/hr 時の原料ガスおよびペレットガス組成を示す。同図より、2 週間貯蔵後のペレットガス組成はほぼ同じ値が得られている。これにより、NGH 率の低下量は 2% で狭い範囲での評価となるが、特定のガス種だけが分解する傾向は得られなかった。

(5) 成果

加圧脱水装置の開発により以下の成果が得られた。

- 1) 加圧脱水方式の処理能力は、「重力+差圧」方式の 4 倍を確認した。
- 2) 加圧後脱水後のパウダーでペレットを成型し、NGH 率 75% 以上を確認した。



脱水方法	重力(従来)	重力+差圧	加圧脱水		
ガス種類	C1:C2:C3=90:6:4				
処理能力 (kg/hr)	0.38	1.4	2.8	3.8	5.6
付加差圧(mmAq)			2000	2800	2800 3500
NGH率 (%)	48.8	51.6	38.8	37.4	33.4 36.5

図 2.1.2.2-2 実験結果

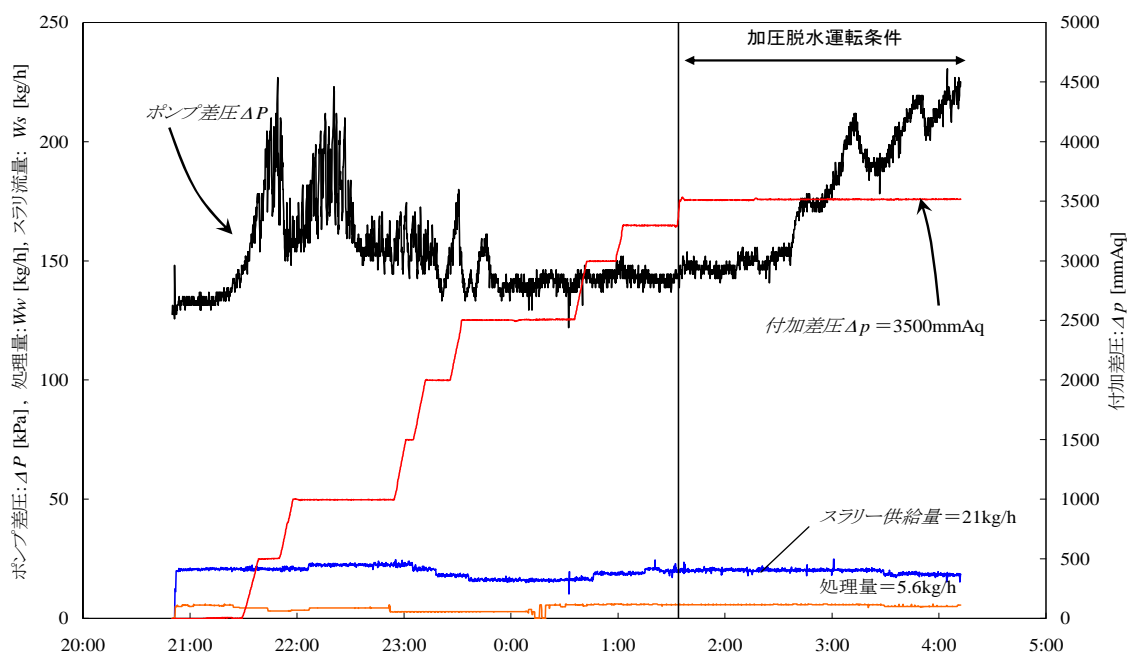


図 2.1.2.2-3 処理能力 5.6kg/hr 運転における状況の経時変化



写真 2.1.2.2-1 BSU 連続運転時のペレット取出し状況

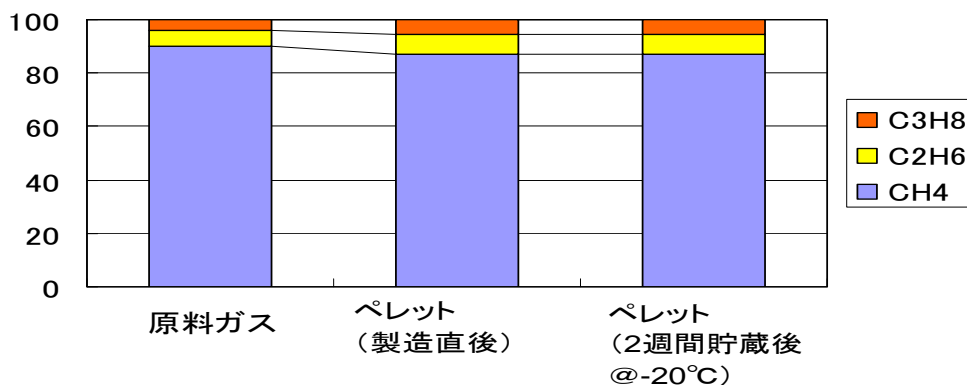


図 2.1.2.2-4 処理能力 5.6kg/hr のガス組成

2.1.2.3 ペレタイザ脱水機能の高度化

ペレタイザの成形では、脱水塔から NGH 率 40% でフィードされたパウダーを圧搾して、脱圧時の分解を考慮して 82% のペレットを成形するため、パウダー中の余剰水分 42% を排出する必要があります。この余剰水分を効率良く排水することが、成形ペレットの高品位化、成形能力の高速化に繋がるため、脱水機能の高度化研究を行った。その概要を報告する。

(1) 研究開発時の Bench Scale Unit における KP 装置の状況

(三井造船(株)千葉事業所)

ペレタイザでの成形は、成形ロールにパウダーを連続的に供給するため、ホッパーにパウダーを貯めた状態で成形を行う。三井造船(株)千葉事業所にある Bench Scale Unit (以下、BSU) での成形試験では、成形処理量(ロール速度)を上げると、ホッパー側に圧搾水が逆流する結果が得られた。図 2.1.2.3-1 に圧搾水が逆流する状態の模式図を示す。ホッパー側に圧搾水が逆流すると、逆流水とホッパー内のパウダーが混ざり合ってスラリー化し、成形およびパウダーのスクリーン搬送が不可能になる傾向があった。

i. 圧搾水の主な排水箇所

図 2.1.2.3-2 に圧搾水の主な排水箇所を示す。主な圧搾水の排出箇所は、同図に示す A. ロール脇(ロール端面)、B. ジョンソンスクリーン、C. ロールの隙間(ペレットに同伴)である。

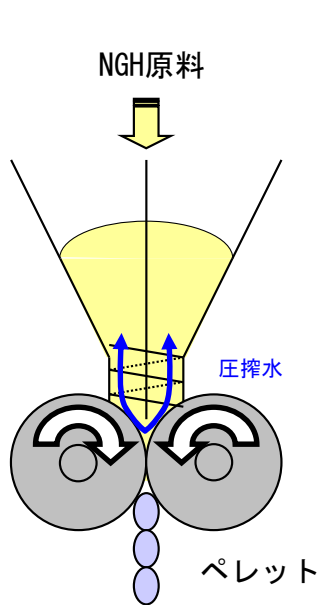


図 2.1.2.3-1 圧搾水が逆流する模式図

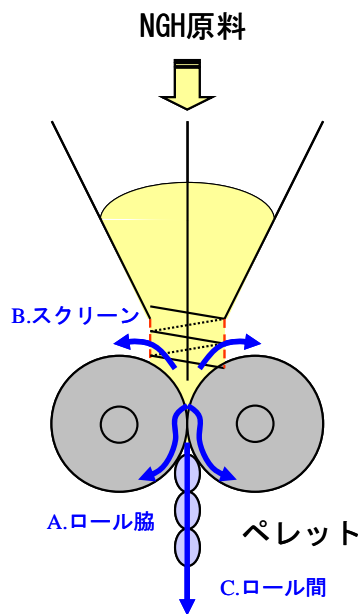


図 2.1.2.3-2 圧搾水の主な排水箇所

(2) ペレタイザ排水機能の向上

ペレタイザ圧搾部からの排水性の向上を目的として、先に記した圧搾水の主な排水箇所に対し、排水性能向上のため対策を行った。

i. ロール脇のクリアランス調整

図 2.1.2.3-3 に示すように、ペレタイザにはロールの軸方向の端面にチークプレートと言われる金属製の板が取り付けられ、供給パウダーを両側から押さえている。チークプレートを設置する際にシムプレートを挿入し、ロール脇にクリアランスを確保した状態で排水状況を確認した。

その結果、ロール脇からの排水を確認し、BSU でのロール最大回転数である 4.6rpm まで成形が可能となった。しかし、広くクリアランスを確保した結果、ロール脇からのスラリー漏れも増加する結果となり、供給パウダーの歩留まりが悪化する状況となった。

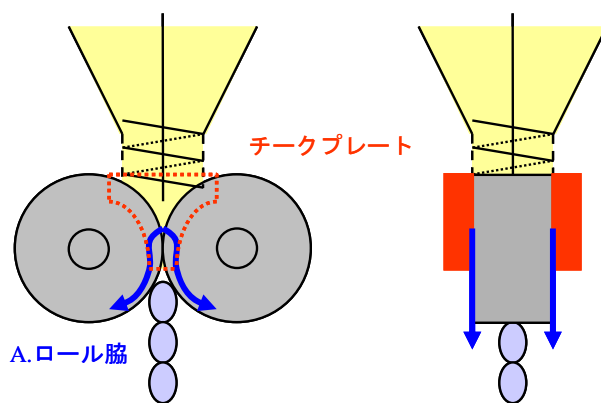


図 2.1.2.3-3 チークプレートの配置図

ii. スクリーン近傍の内圧 (ΔP) の増加

ホッパー上方への圧搾水の逆流を抑える目的で、ホッパー下部に供給パウダーによる移動シール層を形成した。圧搾水はスクリーンによるパウダー供給圧やロール圧搾圧で排水されるが、シール層の形成により逆流側の流体抵抗を増加させ、他の経路への排水を相対的に促進させるもの

である。

そこで、図 2.1.2.3-4 に示すように、スクリーをホッパー側に延伸させ、粉体シール層を形成する対策を行った。その結果、スクリーンからの排水で、BSU でのロール最大回転数である 4.6rpm まで成型可能となった。スクリーンからの排水は、若干のスラリーが混ざり白濁水になっているものの、スクリーンから良好な排水を確認した。

上記から、柳井設備のペレタイザにおいて、ホッパー側にスクリーを延伸する方式を採用することにした。

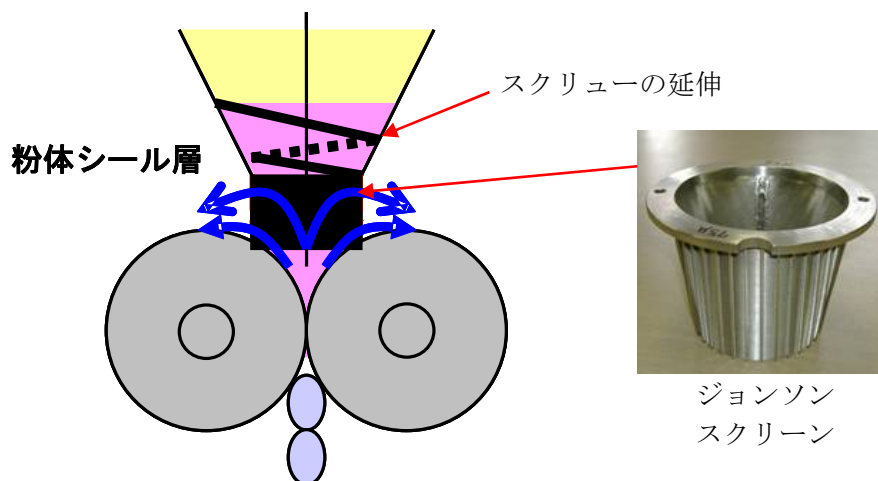


図 2.1.2.3-4 スクリューの延伸と粉体シール層の形成

(3) NGH 製造・出荷設備でのペレタイザ装置仕様

以上から、排水性の向上を目的とした一連の開発を経て、柳井の NGH 製造・出荷設備のペレタイザ装置仕様を次のように決定した（図 2.1.2.3-5）。

- 1) ホッパー部（上部）へスクリーを延伸
- 2) スクリュー直胴部にジョンソンスクリーンを採用
- 3) シムプレートで、チークプレートのクリアランスを管理

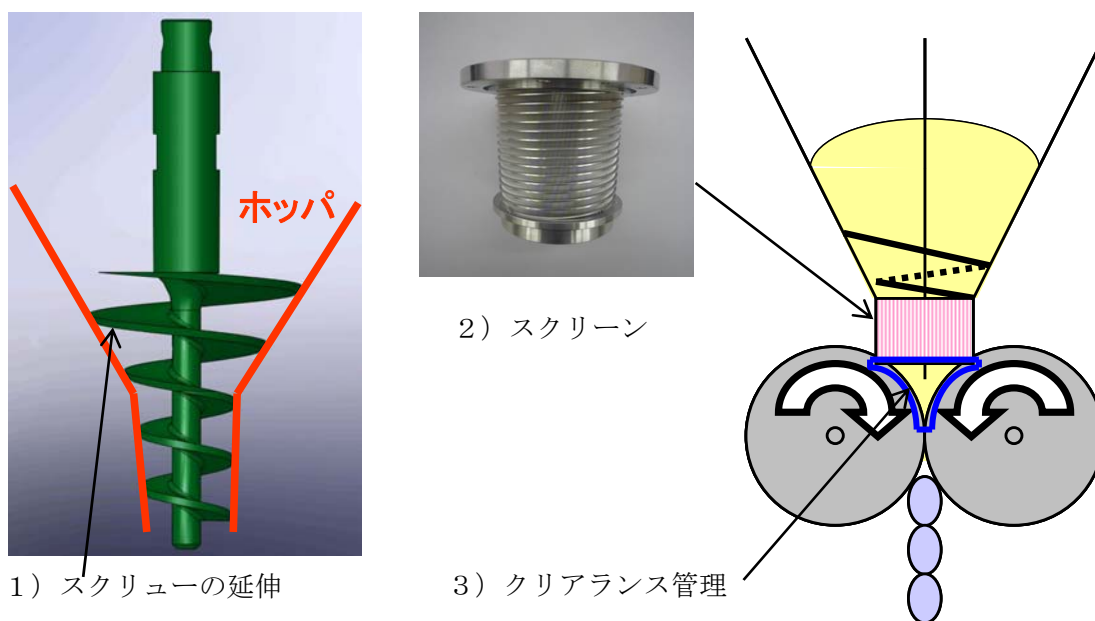


図 2.1.2.3-5 柳井の NGH 製造・出荷設備のペレタイザ装置仕様