

コンデンセート一括脱硫プロセス

JUSTSM Condensate

寺谷 彰悟^{*1}、澤井 直明^{*2}、佐藤 厚徳^{*1}

Shogo Teratani^{*1}, Naoaki Sawai^{*2}, Atsunori Sato^{*1}

^{*1} プロセステクノロジー本部 技術イノベーションセンター、

^{*2} プロセステクノロジー本部プロセスエンジニアリング第2部

^{*1} Process Technology Division, Technology Innovation Center,

^{*2} Process Technology Division, No.2 Process Engineering Department

要旨

コンデンセートはガス田で生産され、主要留分としてナフサから軽油までの白油留分を含む。その脱硫処理は、一般に、留分毎に個別の脱硫装置を設置して行われる。本報で紹介するコンデンセート一括脱硫プロセス“JUSTSM Condensate”は、コンデンセート全体を一つの脱硫装置で処理することにより、一般的な個別脱硫システムと比較して、建設コストを約30%と運転コストを約50%削減する脱硫プロセスである。

Abstract:

Condensate produced in gas fields contains a large proportion of naphtha to gas oil fractions. In conventional desulfurization schemes, condensate is distilled to the fractions such as naphtha and middle distillates and each fraction is desulfurized in each desulfurization unit. Our JUSTSM Condensate process removes sulfur deeply from the whole range of condensates in a single desulfurization unit, a concept which reduces construction costs by about 30% and halves the operating cost.

本文

1. はじめに

1.1 開発状況

当社は過去に、リファイナーのコンパクト化を目指して、JUSTSM Refinery (JUSTはJGC Unitized Smart Tailoredの頭文字を取ったもの)を開発した。その中心技術は、原油中のナフサから軽油までの白油留分を一つの脱硫装置で処理する一括脱硫プロセスであり、試設計まで完了している。

コンデンセートの需要と低硫黄化へのニーズが高まる中で、競争力あるコンデンセートの脱硫処理方法が必要となっている。コンデンセートの主要留分もナフサから軽油までであることから、JUSTSM Refineryの一括脱硫コンセプトが活用可能と考えて、コンデンセートの一括脱硫プロセス“JUSTSM Condensate”(以下、本プロセス)を開発した。2章で技術詳細について述べているが、本プロセスにより、コンデンセートの高次の脱硫処理が低コストで可能とな

る。日揮触媒化成の触媒による流通試験を技術研究所で実施し、プロセスの成立性を確認した上で、商業装置の実現に向けたプロモーション活動を実施中である。

1.2 市場環境

(1) 概論

コンデンセート中に半分程度含まれるナフサは、脱硫処理後にガソリン基材および石油化学原料（ナフサクラッカーの原料）として使用される。その他の留分は灯・軽油留分であり、脱硫処理後に、オレフィン類を含まない良質な燃料として使用される。また、コンデンセートは残渣油を殆ど含まないため、高価な重油処理設備は不要である。石油製品の中でも、将来的に、石油化学原料としてのナフサや大型車両向け輸送燃料である軽油の需要伸長が大きいと見込まれており、同留分を多く含むコンデンセートの利用価値は将来的に高まると見ている。

もう一つの観点として、環境への関心の高まりから、先進国のみならず開発途上国においても、以下に示す様にガソリン、軽油、重油等の主要燃料の低硫黄化が進められている。

- ガソリン：米国、欧州、日本、中国、台湾、ロシアなどで 10ppm 規制済。2020 年にインド、2021 年にベトナムなどで規制を 10ppm へ強化。
- 軽油：欧州、日本、中国、台湾、韓国、シンガポール、ロシアなどで 10ppm 規制済。2020 年にインド、マレーシア、2021 年にベトナムなどで規制を 10ppm へ強化。
- 重油：一般海域における船舶向け燃料の硫黄分を現行の 3.5%以下から 2020 年以降は 0.5%以下に強化(排気ガスに SO_x スクラバーを設置する場合は高硫黄燃料でも使用可)。

コンデンセートの将来的な有用性と燃料の低硫黄化の流れにより、一般的な個別脱硫システムに対し十分な競争力を有する本プロセスのニーズが高まると期待する。

(2) コンデンセートの生産動向

天然ガスの生産量増加に伴って、コンデンセートも増産される傾向にある。Fig. 1 に EPRINC による情報^[1]を基に作成した 2020 年までの主要地域別のコンデンセート生産動向(2013 年以降は予測)を示す。2013 年から 2020 年に向けて、世界全体で 190 万 B/D (年平均で 27 万 B/D 増加) の生産量増加が見込まれている。同期間における地域別の生産量増加分を見ると、シェール開発が進む北米が 110 万 B/D で最大となり、次に中東(カタール、サウジアラビア、UAE、イラン等)となる。アジアではガス田の老朽化によるコンデンセート生産量の減少が見込まれている。

生産国におけるコンデンセートの供給先と、その割合を Table 1 に示す。本プロセスの潜在的な適用先は、コンデンセートそのものを原料とするサービスとなる。その市場規模は、生産国におけるコンデンセート蒸留装置向け(生産量の約 20%)と輸出分(生産量の約 40%。輸出先におけるコンデンセート蒸留装置の原料)を合わせたものとなり、最大でコンデンセート生産量全体の約 60%と推算する。

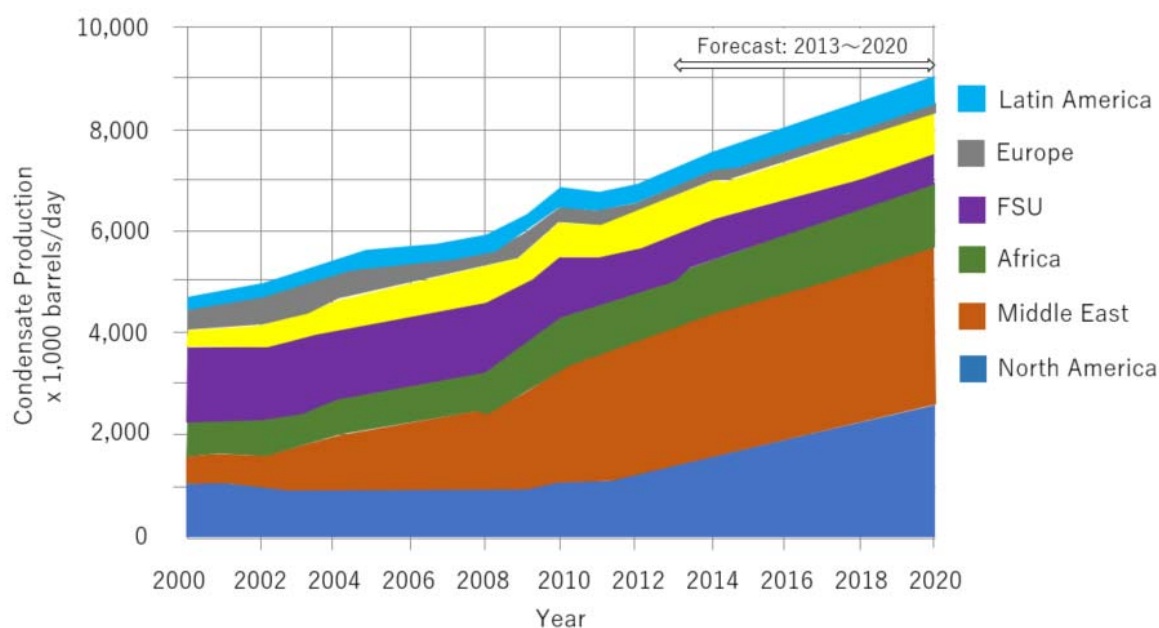


Fig. 1 Forecast of Condensate Production

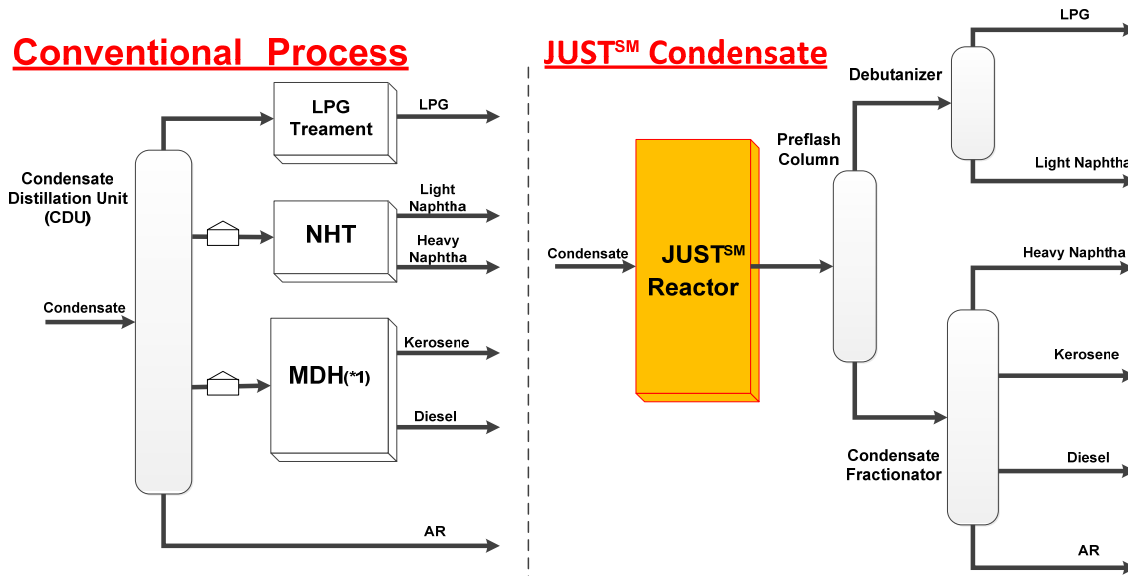
Table 1 Destination of Produced Condensate

Destination	Approximate % of Produced Condensate
Condensate Distillation Unit(CDU)	20
Blended into Crude Oil	30
Exports	40
Others (Diluent, Petrochemical)	10

2. 開発

2.1 プロセスの概要

コンデンセート処理装置の建設コストと運転コストの低減を目的として、分留する前に一括でコンデンセートを脱硫し、脱硫後に最適な蒸留塔システムを設置するコンデンセート一括脱硫プロセス“JUSTSM Condensate”を開発した。本項および2.2項において、コンデンセートの中でも硫黄分が高い中東産コンデンセート 60,000B/D を処理する中東向けコンデンセートリファイナリーPJを例として、既存プロセスによる一般的な処理スキームと本プロセスの処理スキームを比較する。Fig. 2に既存プロセスと本プロセスのスキームを示す。



(*1) MDH: Middle Distillate HDS Unit (Kerosene と Diesel の一括脱硫装置)

Fig. 2 Process Flow Scheme of Conventional Process and JUSTSM Condensate

Fig. 3 に既存プロセスと本プロセスのプロセス工程を比較する。既存プロセスのスキームは、ナフサ脱硫装置 (NHT) と灯・軽油脱硫装置 (MDH) の2つの脱硫装置を有しており、また予熱、蒸留、除熱の工程も2回必要であった。これに対し本プロセスでは、最初にコンデンセートを一括で脱硫するため、脱硫装置が1つで済む。また予熱、蒸留、除熱の工程が1回となり、シンプルな構成になる。このコンデンセート一括脱硫と最適な蒸留塔システムを設置するアイデアによって、国内外で特許²⁾を取得済である。

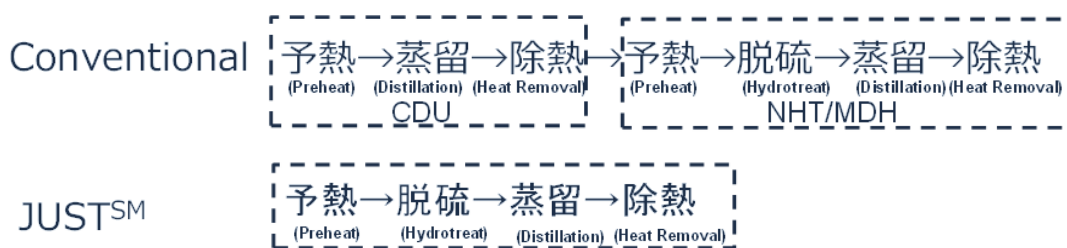


Fig. 3 Process Steps of Conventional Process and JUSTSM Condensate

2.2 プロセスの優位性

本プロセスでは脱硫設備が一つとなり、また予熱系、反応系、蒸留系が一体化しているため、既存プロセスのスキームに対し、以下の優位性がある。

- ユーティリティ消費量を少なくできるため、運転コストとユーティリティ設備の建設コストが低減できる。

- 加熱炉、熱交換器、蒸留塔の数やキャパシティーが少なくなり、建設コストが低減できる。
- CDU と下流脱硫装置 (NHT/MDT) の間に通常設置される中間タンクが不要となり、機器数の削減、プロットエリアの削減により建設コストが低減できる。

Table 2 および 3 に、既存プロセスと本プロセスの必要な機器数、ユーティリティー消費量と年間の運転コストを示す。本プロセスの運転コストは、既存プロセスの半分に低減される。特に予熱系、反応系、蒸留系が一体化しているため、熱効率が高く、既存プロセスで必要とする蒸留のためのストリッピング・スチームが不要であり、ボイラー等のユーティリティー設備を最小化できる。この様に、予熱系、反応系、蒸留系が一体化した本プロセスは、建設コストと運転コストの両面で既存プロセスに対し、圧倒的に有利となる。

Table 2 Number of Major Equipment (60,000B/D)

	Conventional Process	JUST SM Condensate
Reactor	2	1
Furnace	6	3
Column	15	13
Intermediate Tank	2	0
Total	25	17

Table 3 Utility Consumption and Operation Cost (60,000B/D)

	Conventional Process	JUST SM Condensate
Fuel Gas for Fired Heater	132 MW	68 MW
Natural & Fuel Gas for HPU	6 MW	9 MW
LP Steam for Stripping	15 t/h	0 t/h
MP Steam for Reboiler	27 t/h	0 t/h
Makeup water of Cooling Water	19 m ³ /h	23 m ³ /h
Electricity	6,800 KW	4,700 KW
Operation Cost per Annum	20 MMUSD/Y	10 MMUSD/Y

2.3 ベンチプラントによるプロセス評価

対象コンデンセート原料に対し、反応条件や触媒の最適化、保証条件の確認を目的とする実験室レベルの試験を行う必要がある。このため、技術研究所に設置したベンチプラントにより、客先より提供されたコンデンセートを原料とする反応性評価を実施した。Fig. 4 にベンチプラントのフロー図を示す。本ベンチプラントは、原料油・水素供給系、加熱・反応系、冷却・分離回収系から成っており、各種触媒・原料油を用いて、反応温度、液空塔速度 (LHSV)、ガス・オイル比 (GOR) 等を運転パラメータとした性能評価が可能である。反応器は触媒を充填したチューブであり、原料油の質量流速を高め、より実機に近い状況を再現できるようにしている。

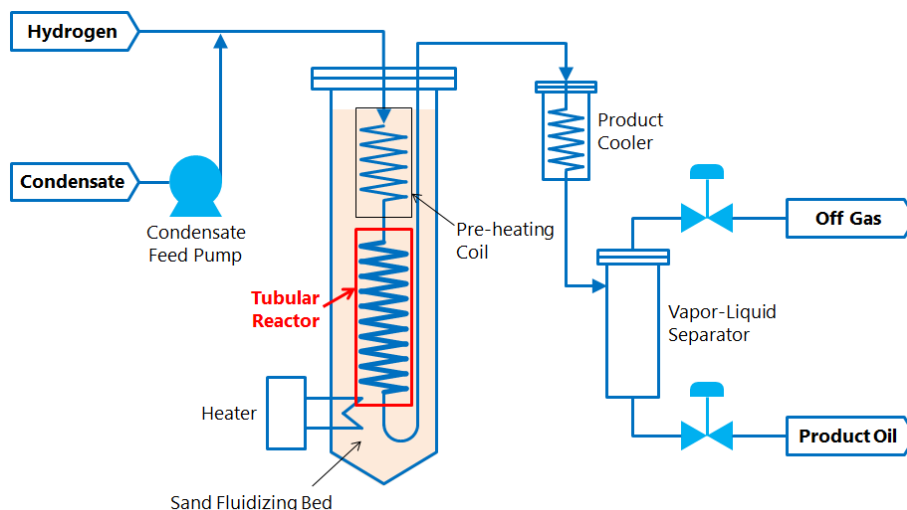


Fig. 4 Schematic Flow Diagram of JUSTSM Condensate Bench Plant

本プロセスでは、コンデンセート中に含まれるナフサから軽油までの全留分で脱硫反応を進行させ、製品スペックをクリアさせる必要がある。脱硫反応であるため、反応温度、反応圧力（水素分圧）、GOR を高くし、LHSV を低くすれば反応は進行する。しかしながら、反応条件を高温高圧かつ低 LHSV 条件にすると、Fig. 5 に示す様に、主にナフサ留分において脱離した硫化水素（H₂S）がオレフィンと再結合するリコンビネーション反応が進行し、結果的にナフサ留分の硫黄濃度が低下しない。このため、リコンビネーション反応を抑制しつつ、全留分の脱硫を進行させる触媒と運転条件の組合せが本技術のポイントとなる。

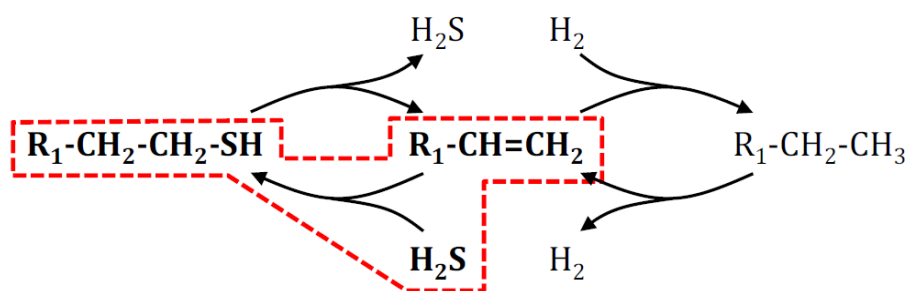


Fig. 5 Reaction Mechanism of Hydrodesulfurization and Recombination Reaction.

ベンチプラントによる試験結果の一例を紹介する。試験には、Table 4 に示す性状の中東産コンデンセートを使用した。Fig. 6 に反応前後のコンデンセートの外観を示す。反応前は2環以上の多環芳香族分に起因する蛍光色を示しているが、反応後はこれらの芳香族分も水素化されることにより無色となった。

Table 4 Properties of Condensate Feed

Properties	Condensate Feed
API	56.3
Specific Gravity	0.754
Sulfur, wt-%	0.22
Mercury, wtppb	<1
Nickel, wt-ppm	<1
Vanadium, wt-ppm	<1
Total Acid Number, mg KOH/g	<0.05
Pour Point, °C	<-18
Viscosity, cSt @ 20°C	0.98
Fraction Yields (TBP)	
Light Naphtha (C5 – 80 deg.C), vol%	18.0
Heavy Naphtha (80 – 160 deg.C), vol%	33.4
JET / Kerosene (160 – 220 deg.C), vol%	18.8
Diesel (220 – 380 deg.C), vol%	24.0
Atmospheric Residue (380 deg.C+), vol%	0



Fig. 6 Comparison of Feed and Product Condensate,
Left: Feed Condensate (before reaction), Right: Product Condensate (after reaction)

Table 5 に、反応前後におけるコンデンサートの密度および硫黄濃度の比較を示す。表より、反応後のライトナフサ・ヘビーナフサの硫黄濃度は高オクタン価ガソリン、化学品原料として利用できるレベルの 0.5 wtppm 未満、灯・軽油は EURO-V の灯・軽油レベルの 10 wtppm 未満となり、製品として十分に利用できる生成油が得られた。

Table 5 Comparison of Density and Sulfur Content between Feed and Product Condensate

Property		Condensate Feed	JUST SM Product	Target	Application
Density, g/mL		0.754	0.750	-	-
Sulfur	Light Naphtha, wtpm	472	0.1	<0.5	Gasoline Olefin
	Heavy Naphtha, wtpm	407	0.2	<0.5	Gasoline BTX
	JET / Kerosene, wtpm	3,127	1.2	<10	EURO-V
	Diesel, wtpm	1,907	4.7	<10	EURO-V

3. おわりに

コンデンセートの増産が進む中で、複数の脱硫装置が必要となる既存のコンデンセート処理スキームに対し大幅な建設・運転コストの低減が可能となる本コンデンセート一括脱硫プロセス (JUSTSM Condensate) へのニーズが高まると期待している。技術的な検証と商用装置規模の試設計を完了し、商業1号機の早期実現に向けてプロモーション活動を展開中である。

参考文献

[1] Max, P. Condensate An EPRINC Primer, 2015.4, Page 7

<https://eprinc.org/wp-content/uploads/2015/02/EPRINC-Condensate-Primer.pdf>

[2] 特許番号 : JP6026714、PCT application No: PCT/JP2016/063876