

2019年度 JPECフォーラム

石油化学製品の需給と技術開発動向

2019年5月8日


一般財団法人石油エネルギー技術センター
調査情報部

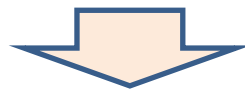
— 禁無断転載・複製 ©JPEC 2019 —

報告内容

1. 調査の目的
2. 芳香族製造技術
3. パラキシレン製造技術
4. 原油から石油化学製品の直接製造
 - ・中国のパラキシレン製造プロジェクト
 - ・Saudi Aramco, SABICの取り組み
5. まとめ

1. 調査の目的

- 国内製油所の国際競争力を確保する方策の一つとして、国内製油所の石油化学シフトの進展を図ることが提言されている。 
- そのため以下に掲げる石化原料製造に係る技術開発動向について調査するとともに、国内製油所に適用する場合の技術的課題の抽出及び課題克服に向けた方策の調査・検討を行う。
 - ・芳香族製造装置及びFCC等の分解装置による芳香族増産等、有用な化学品製造に係る技術開発に係る調査
 - ・パラキシレンの分離精製工程における分離性能向上や投入エネルギー削減など、国際競争力の向上につながる最新技術の開発動向に係る調査
- またパラキシレン等、ターゲットとする化学品の今後の需給動向についても調査・検討を行う。

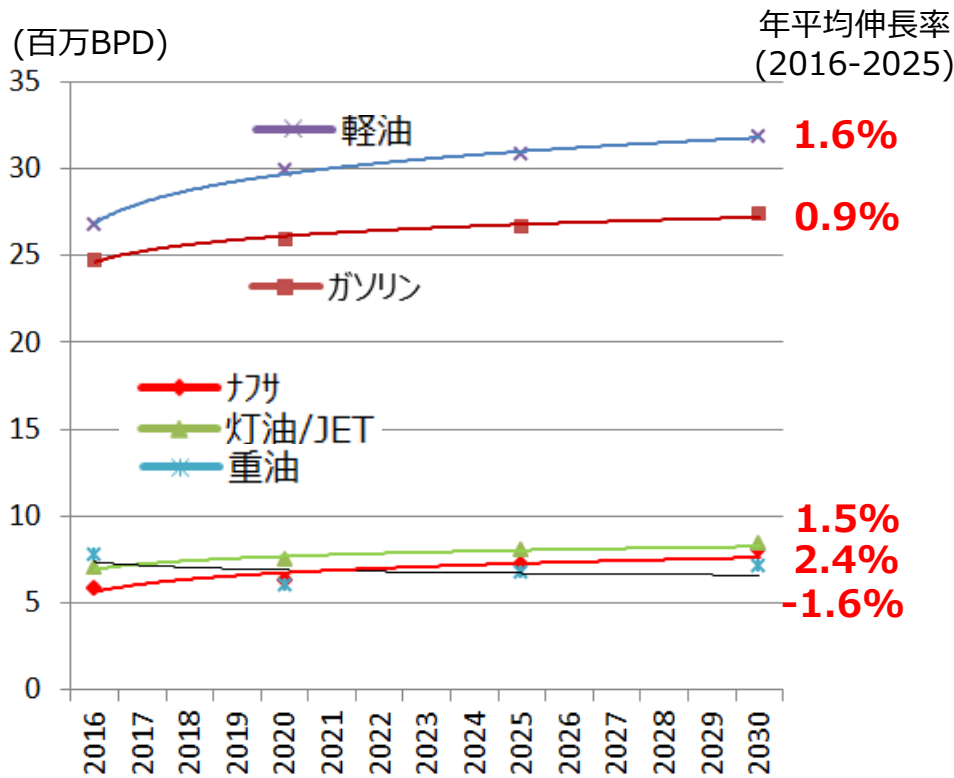


- 芳香族製造技術 …… 特許出願から見る技術動向
- パラキシレン製造技術 …… 特許出願から見る技術動向
最近の実プロセスの技術動向
- 原油から石油化学製品の直接製造のプロジェクト

世界の燃料油・化学製品需要予測

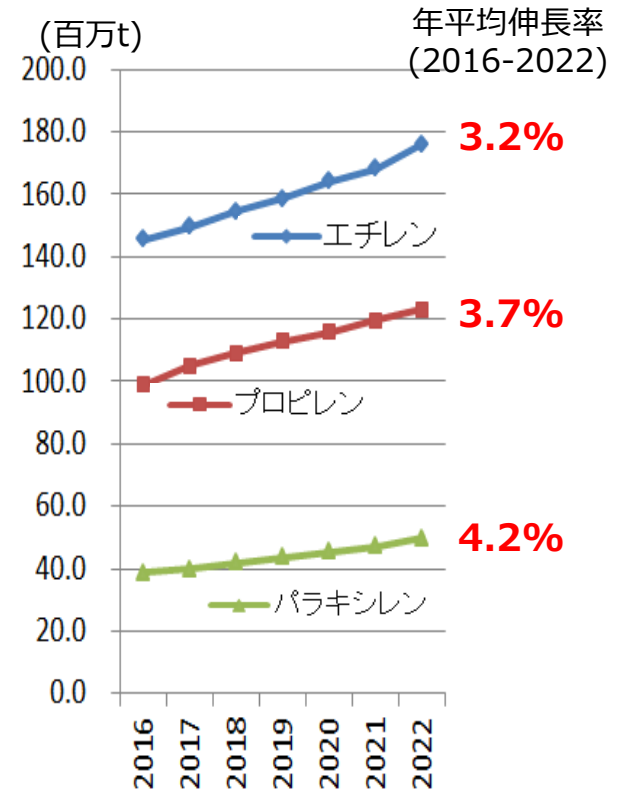
- 世界の燃料油の需要は、おおむね3%と予測される世界のGDP伸長率を下回っている。特に重油については需要減少が見込まれている。
- 一方主要化学品は、GDPの伸びを上回る需要予測がなされている。

<燃料油需要予測>



【出典：NEXANT】

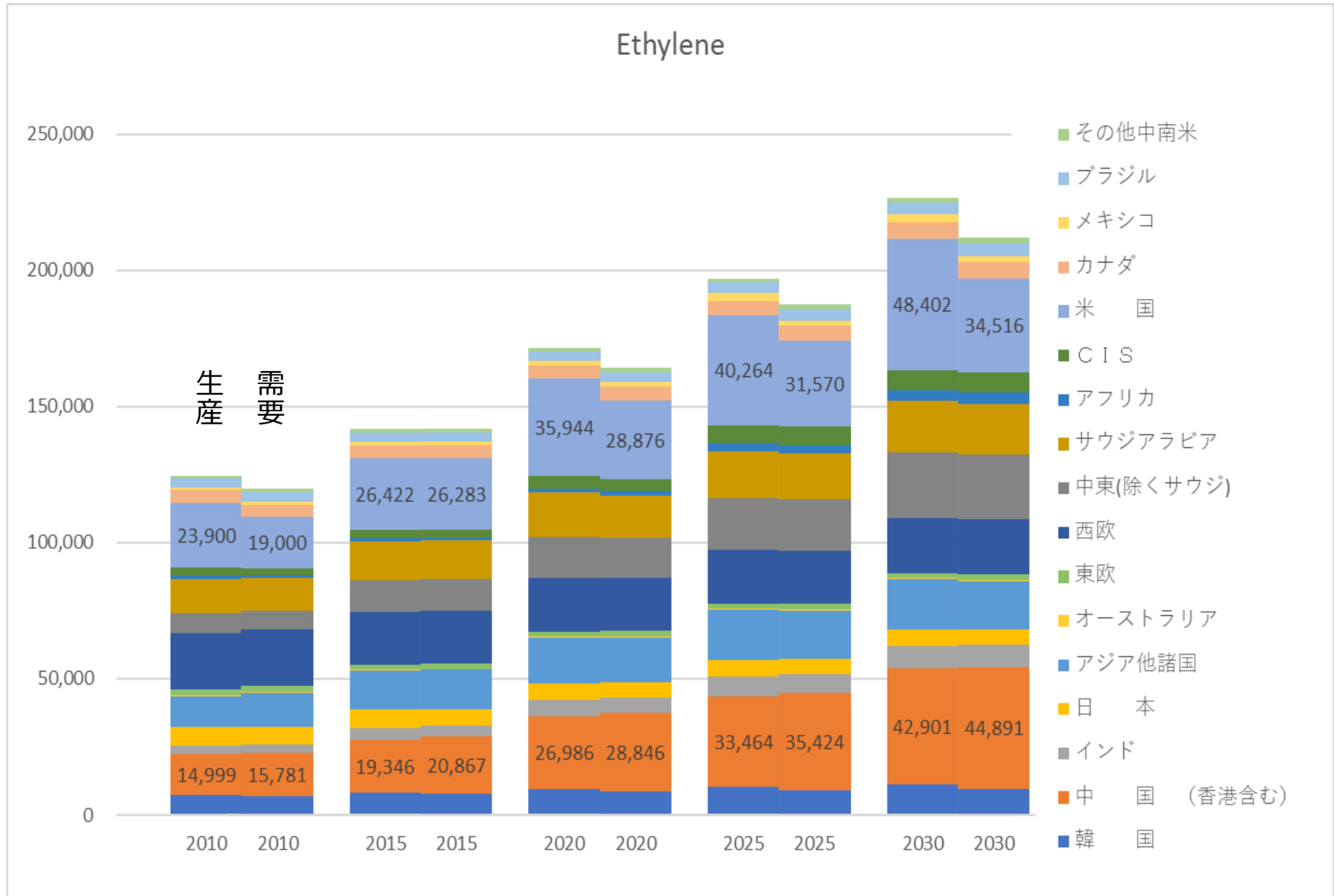
<主要化学品需要予測>



【出典：METI 製造産業局 H30.10】



世界エチレン需給見通し



米国エチレン装置の新增設

事業者名	既存能力	Location	新增設能力	区分	稼働時期
AscentBraskem		West Virginia	1000		
Badlands		North Dakota	1500		
		Shanbri-La	1000		
BASF-Total LLC/Total	1,048	Port Aurther, TX	500	増設	2022
Chevron Phillips	3,553	Cedar Bayou, TX	1,500	新設	2018
		Cedar Bayou, TX	1,500		
DowDupont(Dow)	3,917	Free Port, TX	1,500	新設	2017
DowDupont(DuPont)	681		583	増設	2017
			-308	削減	2018
			65	増設	2019
			500	増設	2020
Eastman	662				
Equister LBI	4,922	Corp Cristi, TX	180	増設	2017
			183	増設	2018
ExxonMobil	3,988	Bay Town, TX	1,500	新設	2018
EM/Sabic		Corp Cristi, TX	1,800		
Flint Hills	717				
Formosa	1,495	Point Confort, TX	1,250	新設	2019
		St James Parish, LA	1,000		
		LA	1,000		
Hanwha		TBA	1,000		
Huntsman	195				
Ineos	1,890				
Indorama		Lake Charles, LA	315	新設	2018
			105	新設	2019
		LA/TX	1,500		あ
Javelina	102				
Loan Star NGL LLC	91				
Phillips 66	23				
PTTCG/Marubeni		Ohio	1000		
Sasol	454	Lake Charles, LA	1,550	新設	2019
Shell	2,614	Potter Township, PA	750	新設	2021
			750	新設	2022
Westlake	1,606		85	増設	2017
			14	増設	2018
		Lake Charles, LA	1,000	新設	2020
Williams/SABIC	884				
Oxy/Mexichem JV		Ingelsaide, TX	412	新設	2017
			138	新設	2018
Shinetsu		Plaquemine, LA	500	新設	2019
Croda Chemicals			24	増設	2020
	28,842		25,396		

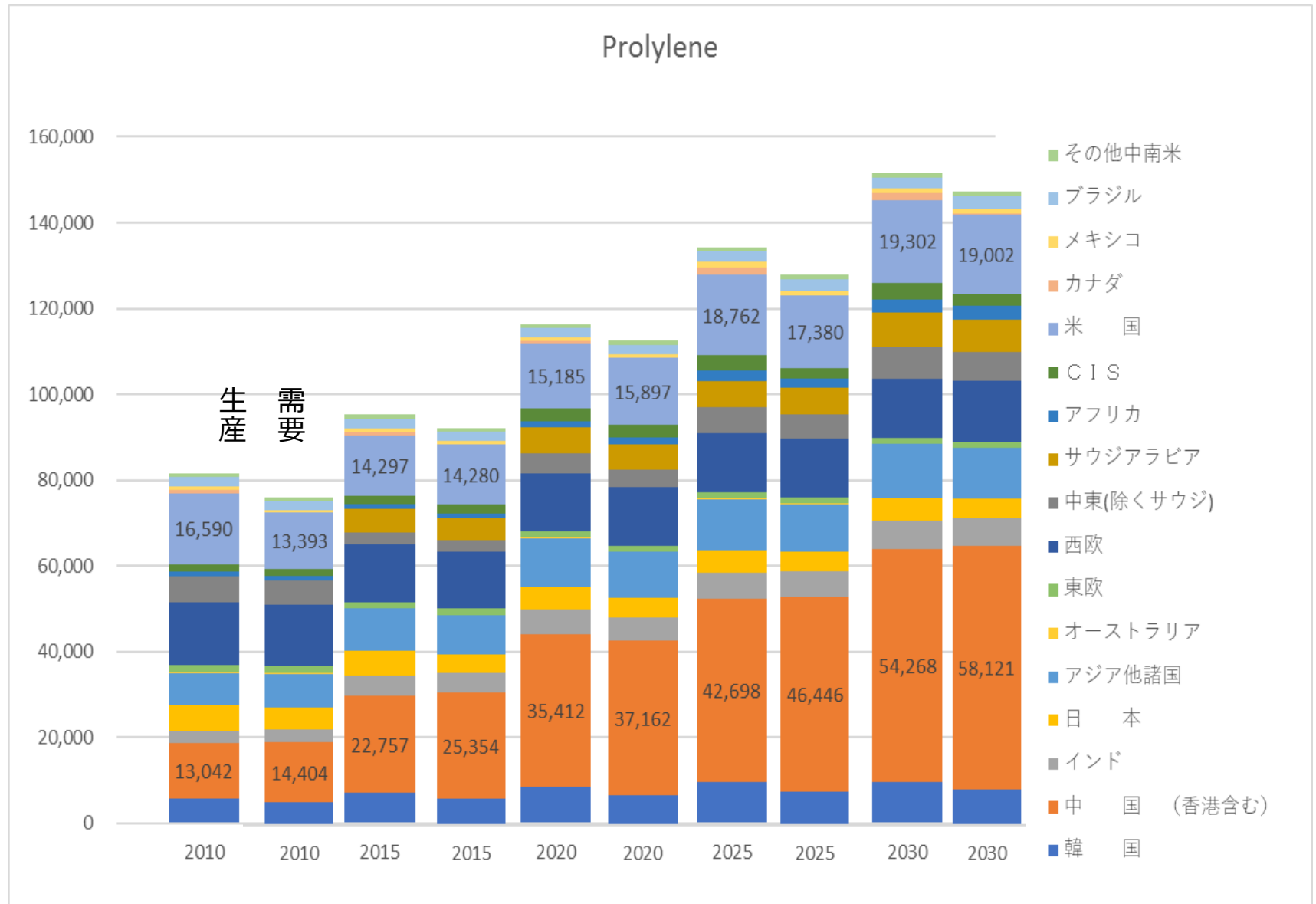
単位:千t/y

既存・計(2016 年末)	28,842
増減・計(17 ~ 22年)	13,096
2022 年 合計	41,938
その他計画	12,300
合計	54,238

シェールガスの開発により、非常に安価に原料ガスが入手でき、エチレンクラッカーの建設計画が相次いでいる。(能力が倍増)
シェールガスの主組成がエタンであり、ナフサ分解と比較して、エチレン以外の収率は極めて低い。

原料	ナフサ	シェール
C2"	100	100
C3"	50-60	9.1
C4"	25	2.6
BD	15	3.5
BTX	75	5.6

世界プロピレン需給見通し



中国プロピレン生産能力と新增設計画

既存装置

地域	能力	地域	能力
NINGXIA BAOFENG ENERGY	600	SINOPEC BEIHAICO.	750
KEYUAN PETROCHEMICALS	580	SHENHUA COAL TO LIQUID AND CHEMICAL CO.	660
BASF-YPC	560	SHENHUANINGXIA COAL IND.	600
NINGBO HAIYUE NEW MATERIAL	550	SINOPEC ANQING PC CO	600
CHINA DATANG	540	SINOPEC CHANGLING CO.	600
FANGDA JINHUA CHEMICAL TECHN.	535	SHENHUANINGXIA COAL IND.	500
DALIAN WEST PACIFIC PC	500	SHENYANG PARAFFIN CHEM.	450
HUATING ZHONGXU COAL CHEMICAL	500	SINOCHEM QUANZHOU PETROCHEMICAL	450
NINGXIA BAOFENG ENERGY	480	その他	270
FUJIAN MEIDE PC	455		4,880
HUAJIN TONGDA CHEMICALS	450		
JILIN CONNELL CHEMICAL	450	SINOPEC ZHENHAIREF AND CHEM c	500
DAQING ZHONGLAN PC	400	SINOPEC ZHANJIANG DONGXING	400
NANJING CHENGZHICLEAN ENERGY	400	SINOPEC SABIC TIANJIN PC	300
HENGLIPC	330	SINOPEC ZHONGYUAN PC	300
FUJIAN MEIDE PC	320	その他	3,106
その他	8,780		4,606
	16,430		
		ZHEJIANG PETROCHEMICAL	490
		YANLIAN PETROCHEMICAL CO	455
		ZHENGHE GROUP	400
		その他	1,450
			2,795

単位:千t/y

既存・計(2016年末)	28,711
増減・計(17~22年)	15,742
2022年合計	44,453

新增設計画

地域	能力	稼働時期
CHINA COAL MENGDA NEW ENERGY AND CHEM.	750	2020
FUJIAN GULEIPETROCHEMICAL	620	2018
HEBEIHAWEIGROUP	605	2020
NINGBO FUND ENERGY	470	2017
その他	1,142	
	3,587	
SHENHUANINGXIA COAL IND.	660	2018
SHENYANG CHEMICAL	660	2017
SHENHUA BAOTOU COAL CHEM. INDUSTRY	600	2020
SHENHUA XINJIANG ENERGY	560	2019
SHAOXING SANYUAN PC	510	2019
その他	1,380	
	4,370	
SINOPEC SHANGHAIPC	460	2019
TIANJIN UNITED CHEMICAL	450	2018
その他	990	
	1,900	
ZHANGJIAGANG YANGTZE RIVER PC	350	2017
ZHEJIANG XINGXING NEW ENERGY CO.	350	2020
ZHONGTIANHECHUANG ENERGY CO.	300	2018
ZHEJIANG SATELL. ENERGY CO. LTD.	300	2017
その他	4,585	
	5,885	

出典:経済産業省 製造産業局素材産業課 2018年資料

プロピレン製造の新設(メタセシス、PDH)

			kMTa					kMTa	
メタセシス	Country	City	事業者名	能力	PDH	Country	City	事業者名	能力
1	US	Port Aurthur	BASF/Total LLC	312	1	US	Free Port	Dow/DuPont	750
2	US	Channelview	Equister	204	2	US	Houston	Flint Hills Resources	658
3	US	Channelview	Equister	272	3	Belgium	Antwerp	Borelis	240
4	Germany	Burghausen	OMV	240	4	Spain	Tarragona	Propanchem	400
5	Israel	Haifa	Carmel Olefins	170	5	Russia	Toboisk	Toboisk-Polymer	510
6	Saudi Arabia	Al Jubail	Ibn Zahr	250	6	Saudi Arabia	Al Jubail	Advanced PC	450
7	Saudi Arabia	Rabigh	Petro-Rabigh	188	7	Saudi Arabia	Al Jubail	Al-Waha	450
8	Saudi Arabia	Al Jubail	Saudi Polymers	200	8		Yanbu	NATPET	420
9	UAE	Abu Dhabi	Borouge	752	9	Saudi Arabia	Al Jubail	Saudi Polymer	450
10	UAE	Ruwais	TAKTEER	325	10	UAE	Ruwais	TAKREER	500
11	China	Yuheng	China Coal Yuheng	70	11	Egypt	Port Said	EPPC	400
12	China	Changzhou	Fund Energy(Changzhou)	90	12	China	Tanggu	Bohai Chemical	600
13	China	Ningbo	Fund Energy(Ningbo)	90	13	China	Jihgxain	Hebei Haiwei	500
14	China	Caojing	Secco	150	14	China	Ningbo	Ningbo Fuji	660
15	China	Ningdong	Shenhua Ningmei	65	15	China	Ningbo	Ningbo Haiyue	600
16	China	Urumqi	Shenhua Xinjiang	70	16	China	Zibo	Qixiang Tengda Chem.	105
17	China	Jiaxing	Zhejiang New Energy	90	17	China	Binzhou	Shangdong Chambroad	133
18	Japan	Ichihara	Chiba chemical Manuf.	150	18	China	Dongying	Shangdong Shemchi	200
19	Japan	Kawasaki	JXIG Nippon Oil & Energy	35	19	China	Shaoxing	Shangdong Shanjin PC	450
20	Japan	Kawasaki	JXIG Nippon Oil & Energy	105	20	China	Zhangjiagang	Yangzijiang Petchem	660
21	Japan	Kashima	Mitsubishi Chemical	150	21	China	Yantai	Yantai Wanhua	750
22	Japan	Sakai	Osaka PC	140	22	China	Pinghu	Zhejiang Satellite PC	450
23	Korea	Daesan	Hanwa Total PC	206	23	S.Korea	Ulsan	Hyosung Corp	300
24	Korea	Onsan	KPIC	110	24	S.Korea	Ulsan	Hyosung Corp	200
25	Korea	Yeosu	LG Chem	120	25	S.Korea	Ulsan	SK Advanced	600
26	Korea	Yeosu	YNCC	140	26	S.Korea	Ulsan	Tae Kwang	300
27	Taiwan	Mai Liao	FPCC	250	27	Malaysia		Petronas	300
28	Indonesia	Balongan	Pertamina	150	28	Malaysia		PP Malaysia	80
29	Malaysia	Pasir Gudang	Lotte Chem.	115	29	Thailand		UMC Polymers	310
30	Singapore	Paulau Ayer Mer	PCS	200	30	Thailand		PTIGC	100
31	Thailand	Ryaong City	IRPC	100					
32	Thailand	Map ta Phut	MOC	300					12,526
				5,809					

2017年
C3"生産量 102.4Mt
スチームクラッカー 50%
FCC 27%
PDH 10%
メタセシス 4%

2. 芳香族製造技術

2-1. 芳香族化合物製造特許の出願状況

ツール：J-Plat Pat

検索範囲：国内特許 公知日 1989.1.1～2018.8.13

検索語：要約/抄録（「原油」or「残渣油」or「重質油」or「石油化学製品」）
and 全文（「分解」or「改質」or「水素化」）

結果： ヒット件数1872件。

この中からオレフィン・芳香族等、化学品の製造に関するものを抽出
（燃料油製造に関する特許を除外） ⇒ 453件。

残渣油を原料とする特許 320件

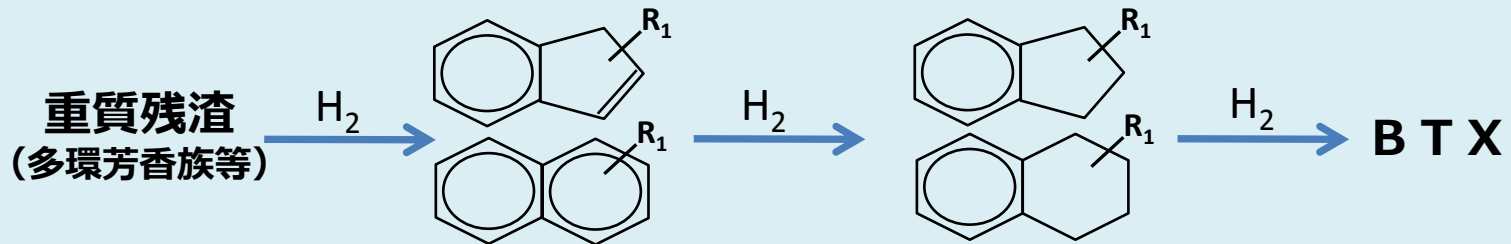
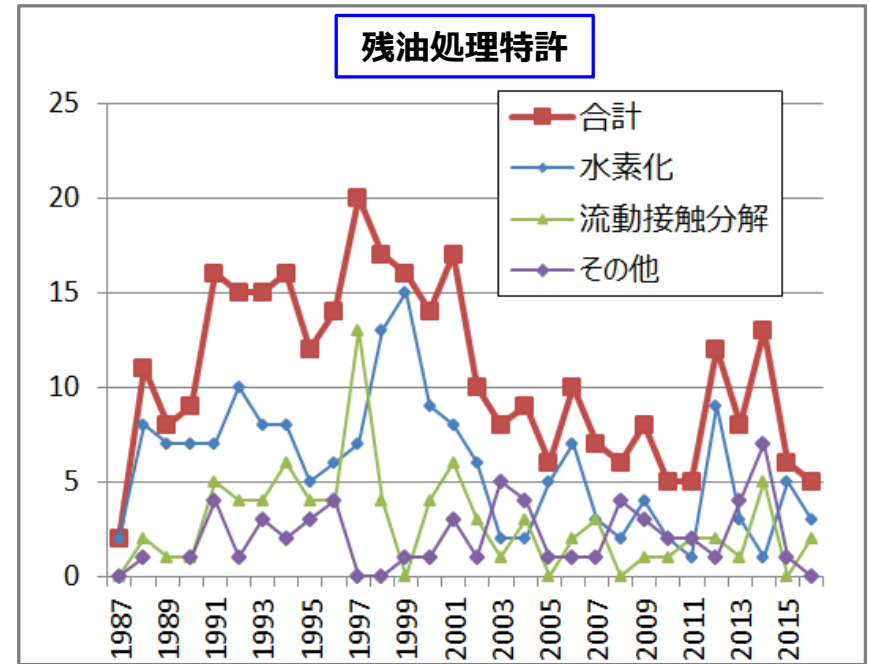
原油を原料とする特許133件



残渣油原料特許、原油原料特許に分けて解析

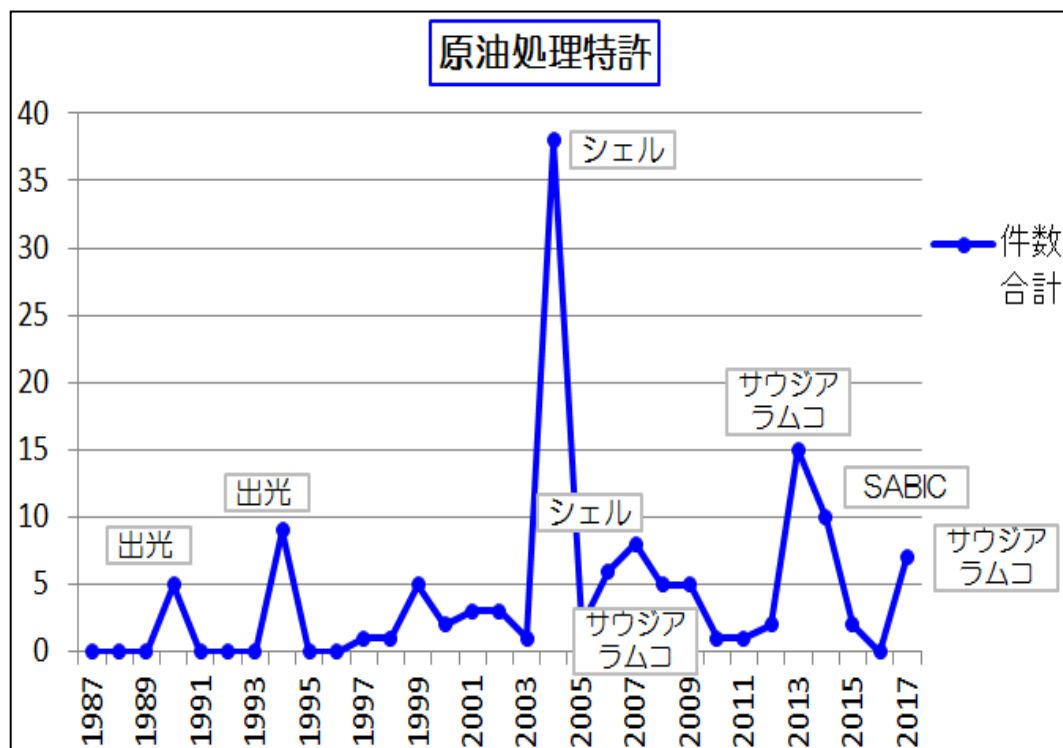
残油を原料とする芳香族化合物製造特許

- 技術、出願人等に特段の傾向は見られない。
- 芳香族製造の技術の基本は、多環芳香族を水素化分解しナフタレン環、インデン環を製造、更に芳香族環を残して部分水素化、更に水素化開環・分解するルート。
- 軽質オレフィン狙いの特許も多数。
- 「分解」「改質」「水素化」で検索したこともあり新規な製造ルートは見られなかった。



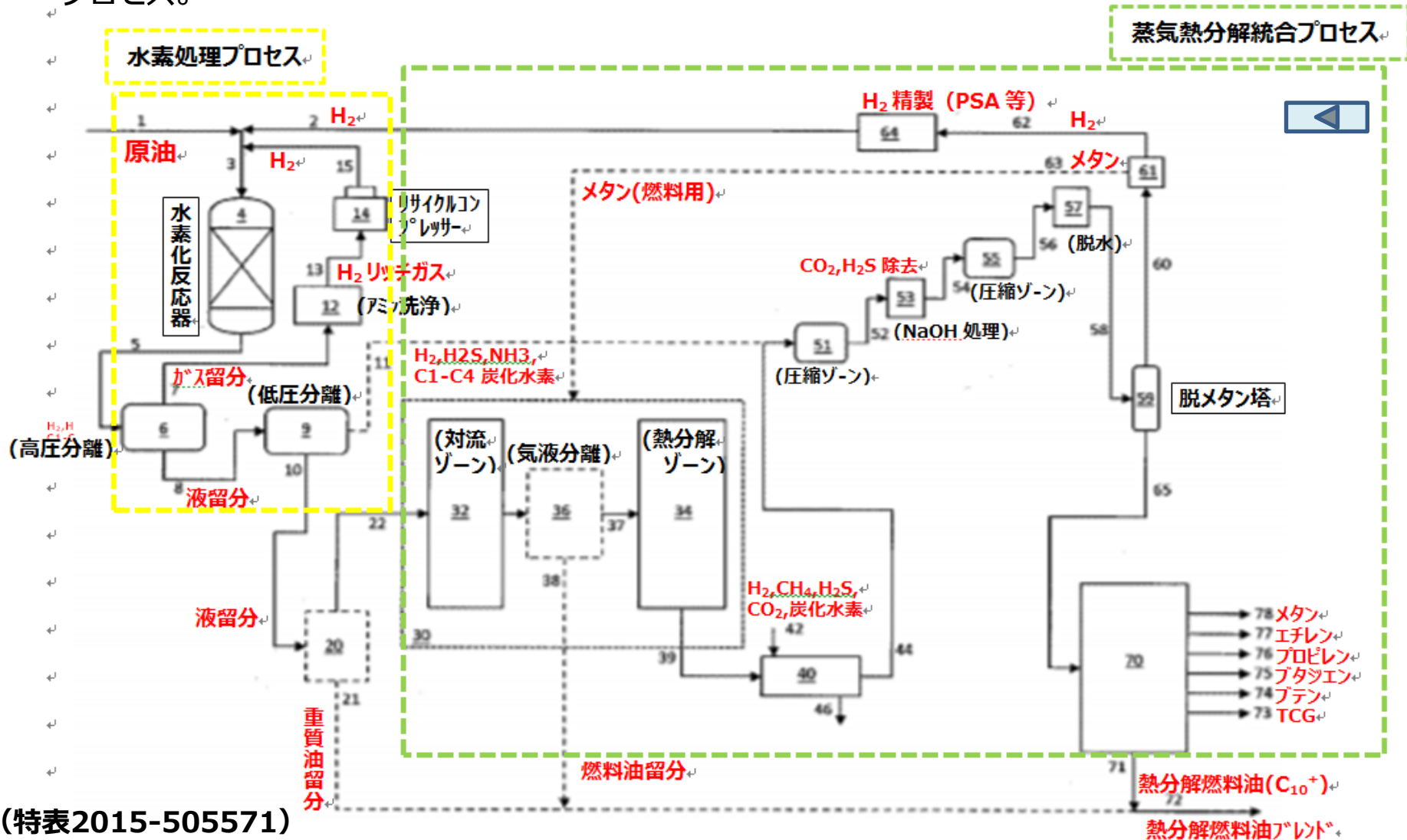
原油を原料とする芳香族化合物製造特許

- 2008年以降、Saudi Aramco と SABICの出願が突出。
- 新規反応ルートに関する出願は無く、既存の水素化分解反応などを組み合わせたプロセス構成に関するものが主体。
- サウジアラムコ出願は25件（前処理9件、オレフィンおよび芳香族の生産に関するものが16件）
- SABIC出願は10件（すべて石油化学製品の製造に関するもの）
- シェルも2004年を中心に54件の特許出願があるが、ほとんどが原油の水素化処理に関するもの。



2-2. Saudi Aramco 出願技術の概要

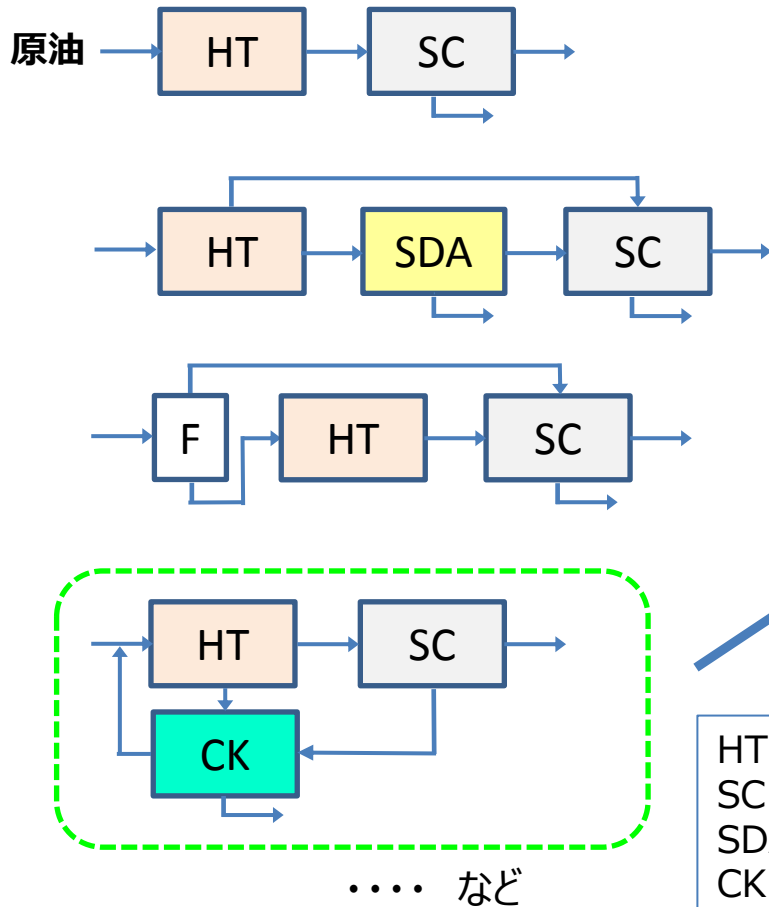
- Saudi Aramcoは2008-2017年で、原油から直接化学品の製造に関する特許を16件出願。
- 原油を水素化した後に、スチームクラッキングプロセスで処理し、目的生成物を得るのが基本プロセス。



(特表2015-505571)

○水素化処理、スチームクラッキングの組み合わせの基本形に、溶剤脱ロウ、スラリー-水素化処理、コーカー、FCCなどを組み合わせた各種装置構成の特許を出願。

【装置の組み合わせ例】



化学品合計
約72%

HT：水素化処理
SC：スチームクラッキング
SDA：溶剤脱歴
CK：コーカー
F：フラッシュ分離

成分	W t %
水素	0.79
メタン	10.68
エチレン	27.10
エタン	0.69
プロピレン	13.67
プロパン	1.03
ブタジエン	4.95
ブタン	0.64
ブテン	4.22
ベンゼン	5.64
トルエン	2.83
Pyガス	11.41
熱分解燃料油	11.91
他	0.70
コークス	3.74
合計	100.00

(特表2015-514828)

2-3. SABIC 出願技術の概要

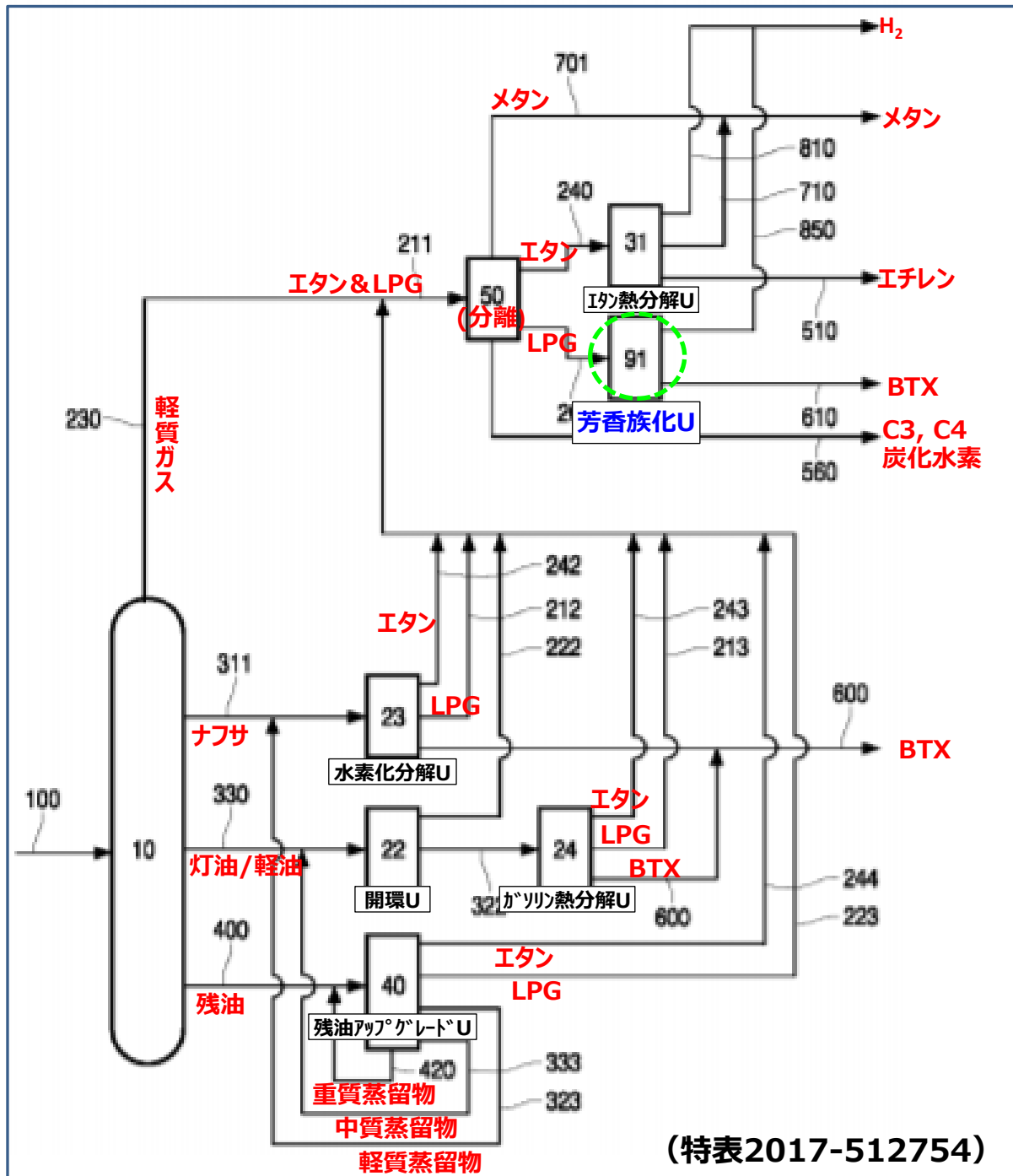
- 2014年に14件の特許を出願。すべてオレフィン、芳香族等石油化学製品の製造を目的とする特許。
- 原油から、水素化分解反応、開環反応、スチームクラッキング反応の組み合わせで芳香族、オレフィンを製造。オレフィン、芳香族等狙いとする目的物に応じてFCC、コーカー等を組み合わせる。
- 個々の要素技術に関する出願ではなく、目的とする生成物に応じた、プロセスの組み合わせに関する特許出願。
- 右の例では原油から80%近くの収率でオレフィン+芳香族が得られている。(特表2017-512754)
- 装置構成は次ページ

原油のwt%

成分	例1(比較)	例2(比較)	例3
オレフィン	72.4	50.9	36.3
エチレン	20.8	25.6	32.3
プロピレン	41.3	16.1	2.6
ブタジエン	0.5	2.6	1.1
1-ブテン	7.7	3.4	0.1
イソブテン	2.0	2.0	0.0
イソプレン	0.0	0.3	0.0
CPTD	0.1	0.9	0.2
芳香族	17.4	32.2	41.4
ベンゼン	3.9	11.3	12.4
トルエン	8.4	12.9	20.2
キシレン	5.0	7.9	6.8
エチベン	0.1	0.1	2.0
水素	3.7	2.0	4.3
メタン	5.0	10.9	16.1
CO/CO ₂	0.1	0.1	0.1
ピッチ	1.6	3.9	1.7

(特表2017-512754)

- LPGの環化により芳香族を増産するためのユニットを設置。これにより芳香族収率を40%程度まで向上させている。
- Saudi Aramcoと同様に、エチレン、プロピレン、芳香族など、目的生成物に応じて、装置を組み合わせる構成が特徴となっている。



3. パラキシレン製造技術

3-1. パラキシレン製造特許の出願状況

ツール：J-Plat Pat

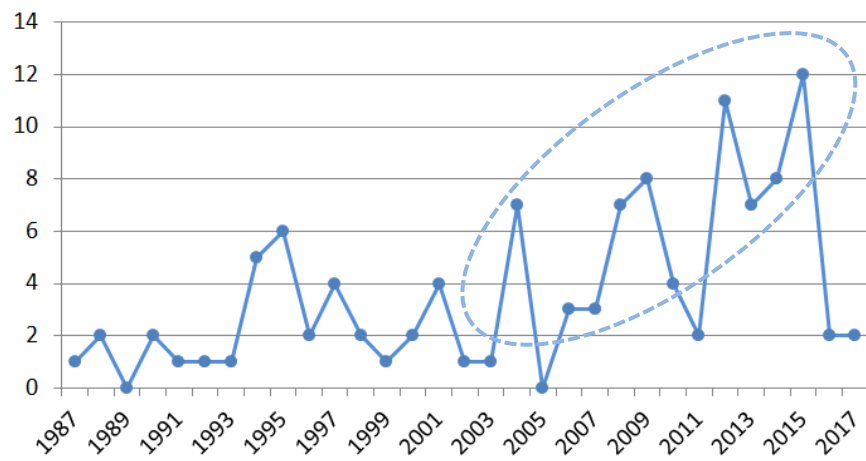
検索語：要約/抄録中「パラキシレン」で検索

結果：606件がヒット。このうち出願年が平成以降のものを抽出（320件）
さらにノイズを除外して112件を対象として解析

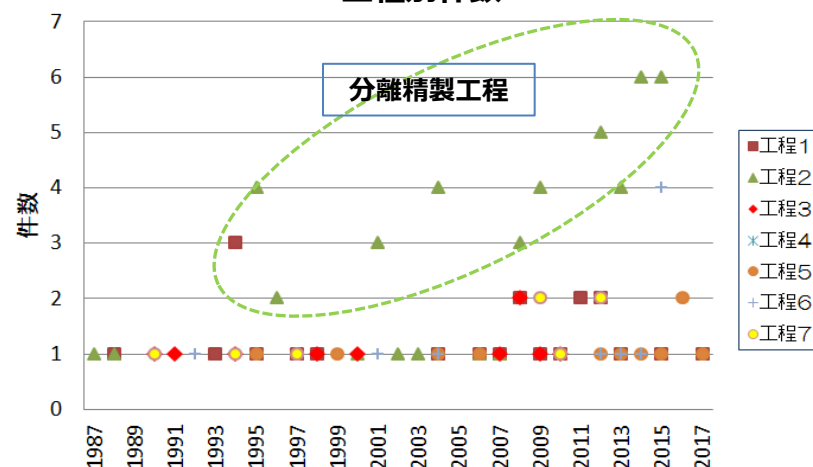
- 2000年以降、出願数は増加傾向。
- 分離精製工程に関するものが増加傾向にあるが、それ以外の異性化、アルキル化に関する特許も継続的に出願。
- 従来の製造法以外の技術についても数種類の出願。



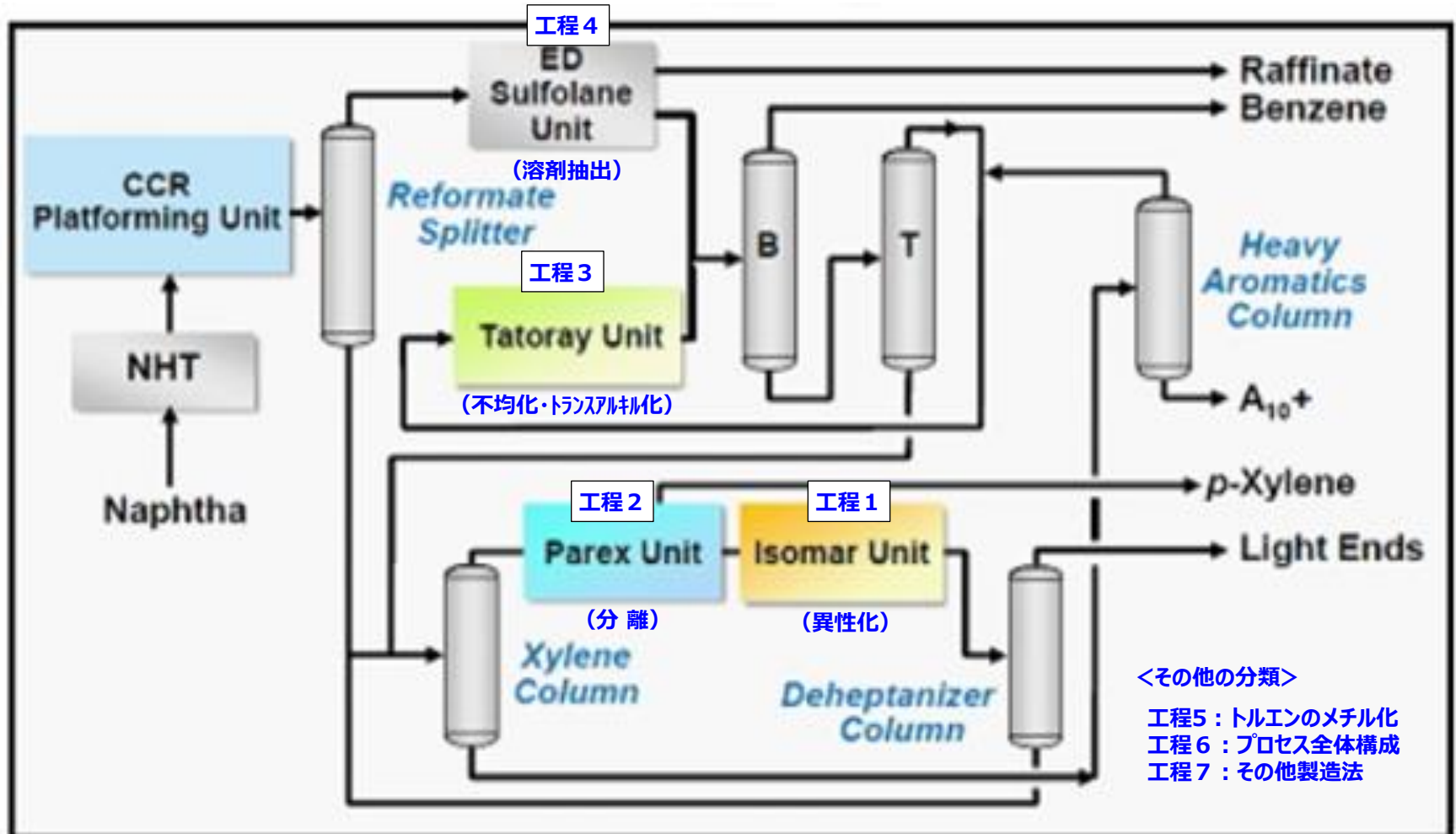
出願数合計



工程別件数



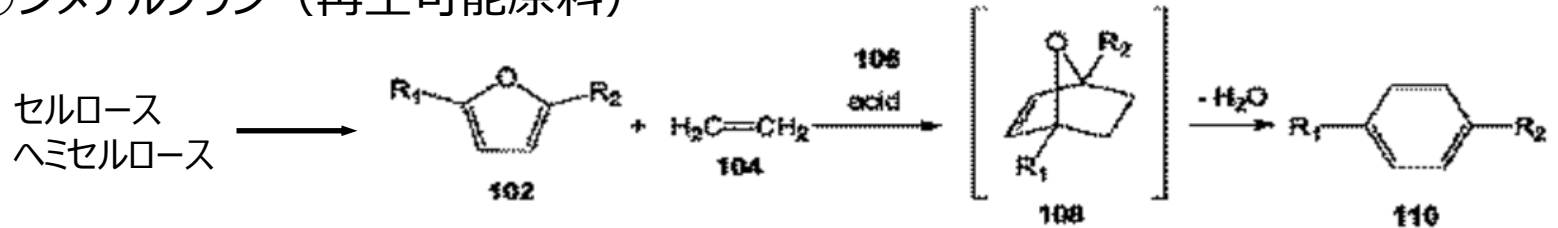
パラキシレン製造プロセス



従来法以外の技術

【製造法】 …… リフォーマート、TCG原料以外

①ジメチルフラン（再生可能原料）



②メタノールとC4アルカンまたはC4オレフィン原料

③バイオアルコール（メタノール、プロパノール、ブタノール）原料

④C3、C4原料（環化脱水素）

⑤イソブテン原料（二酸化酸化脱水素）

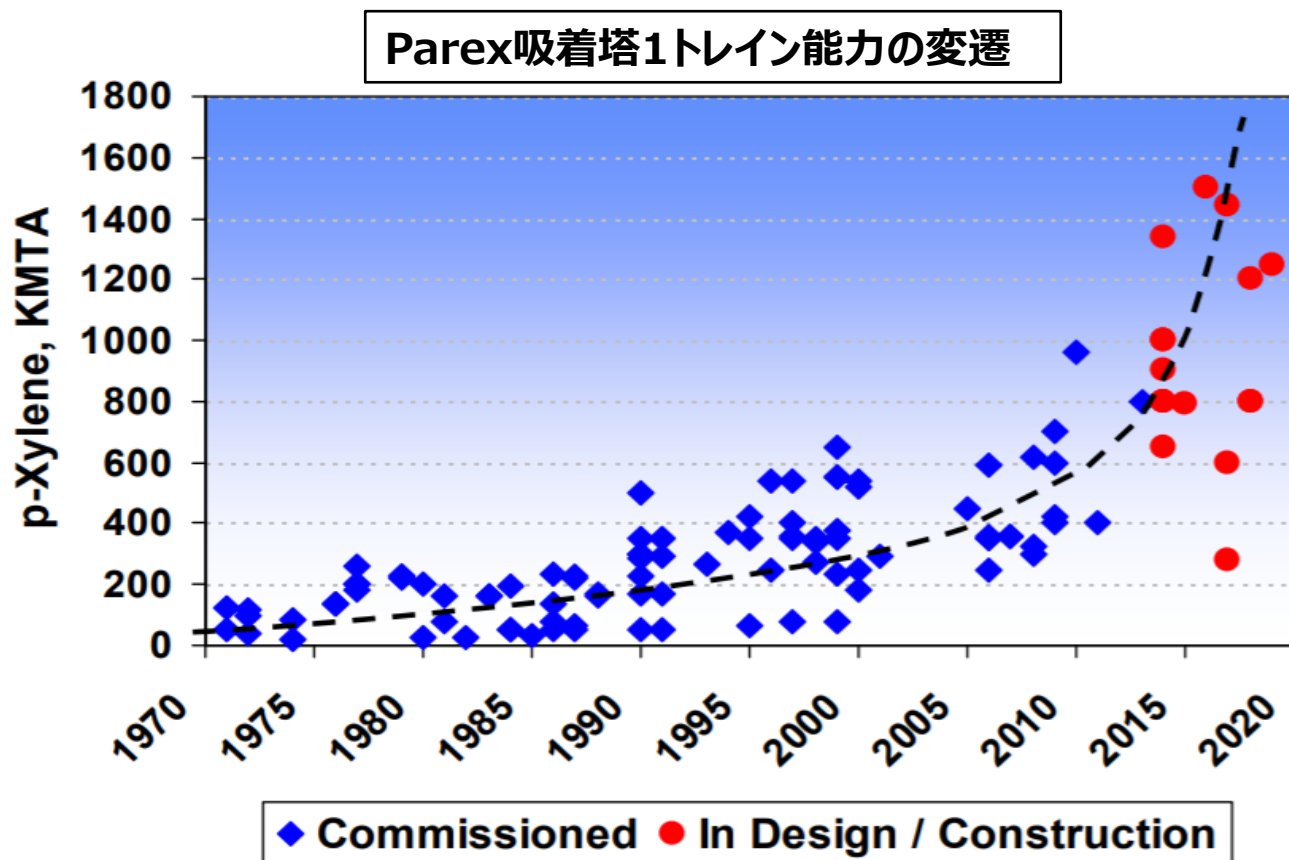
【分離法】

①ゼオライト膜

②有機金属構造体（MOF）

3-2. 既存プロセスの進歩 (UOP技術資料より)

- 触媒技術と吸着技術の進歩により、シングルトレインで 150万プロセスが出現
- 更なる触媒技術と吸着技術の改良で今後220万t/y 超のプロセスも可能
- 建設費の低減、用役コストの低減により製造コストの低減が図られている。
(例えば2010年設計の設備に対し、2015年設計の設備にの製造コストは US\$100/ t 低減。



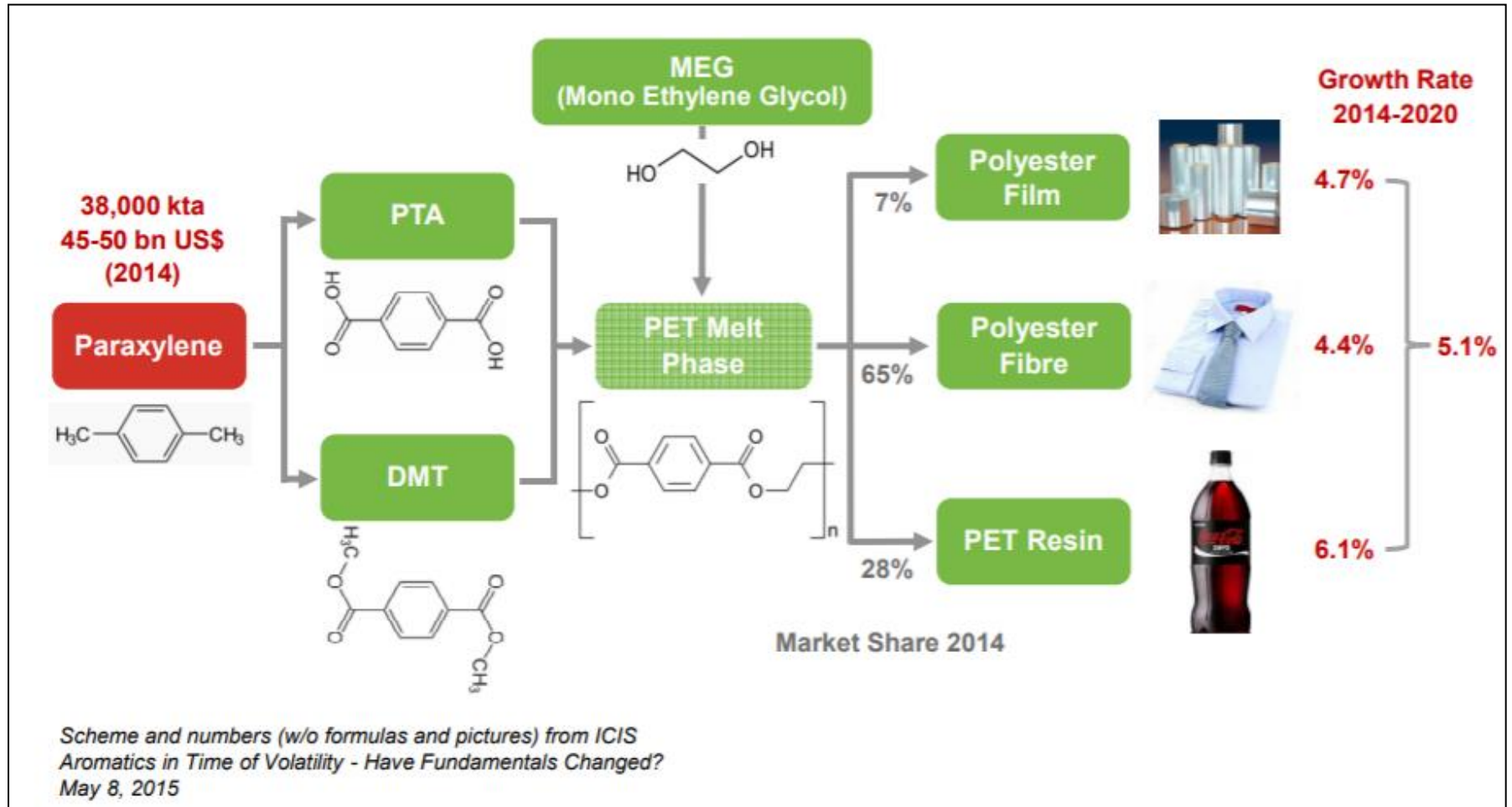
Source: UOP licensed unit data

出典：UOP資料

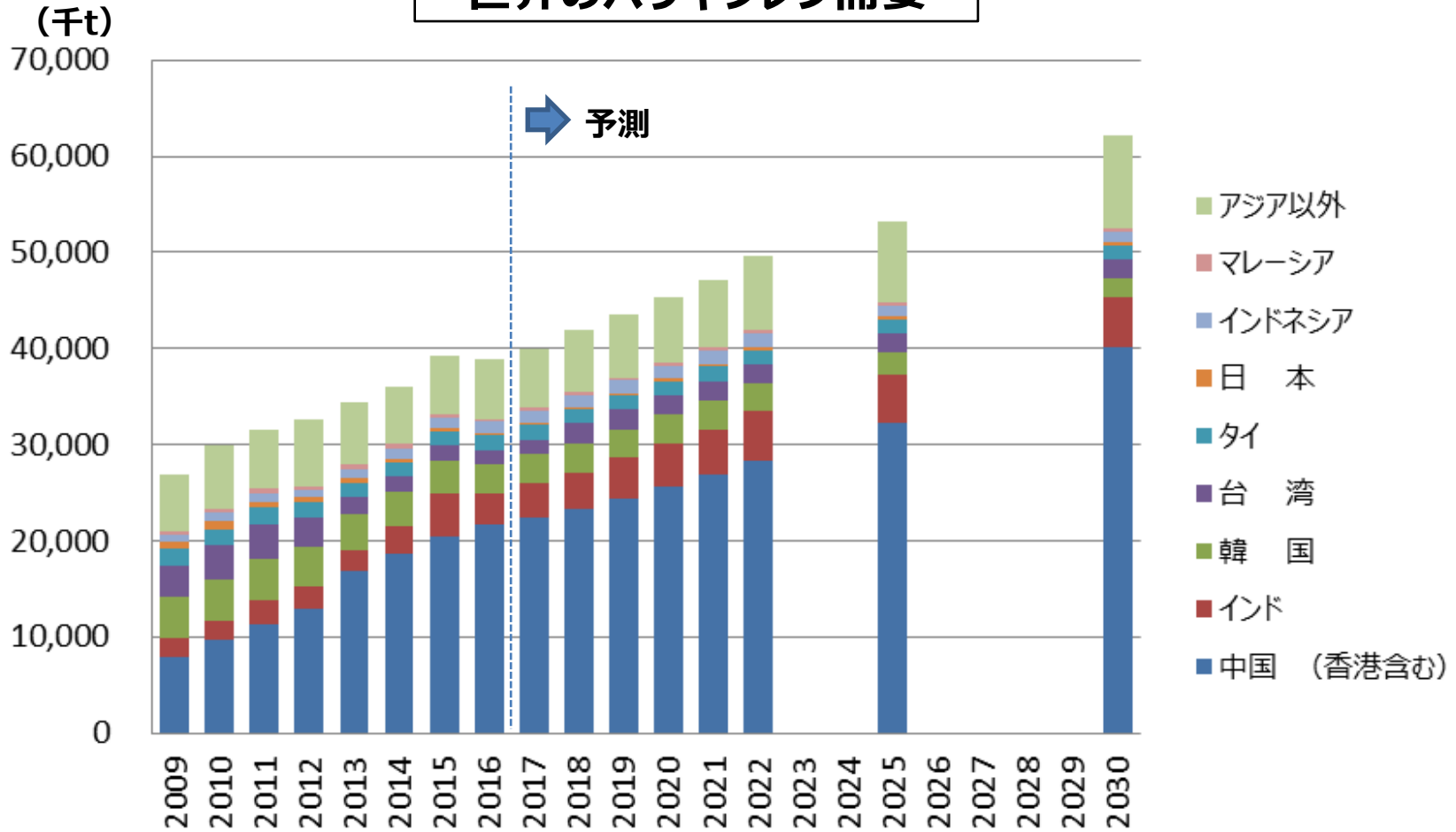
4. 原油から石油化学製品の直接製造

4-1. 中国のパラキシレン製造プロジェクト

- ポリエステルが世界の繊維需要の増大を支えており、その原料の一つであるパラキシレンも大きな伸びを示している。



世界のパラキシレン需要



出所：世界の石油化学製品の今後の需給動向【METI 製造産業局2018.10】

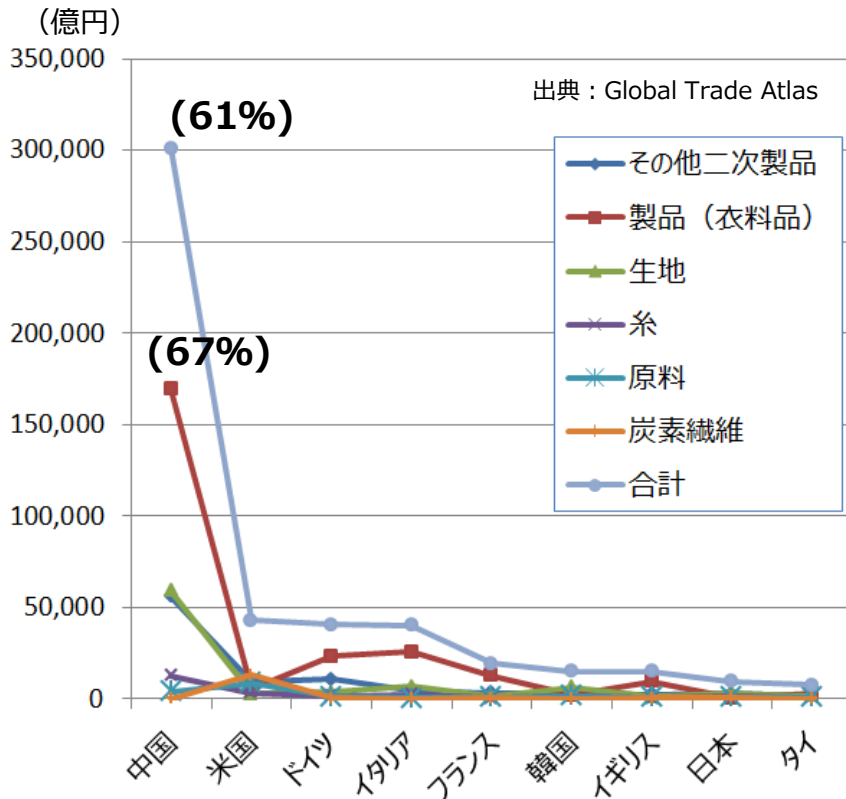
- 4%を超える需要増
- 世界需要の85%がアジアに集中
- 中国は世界需要の過半を占めており、将来的には6割を超える予測



中国の繊維産業とパラキシレン

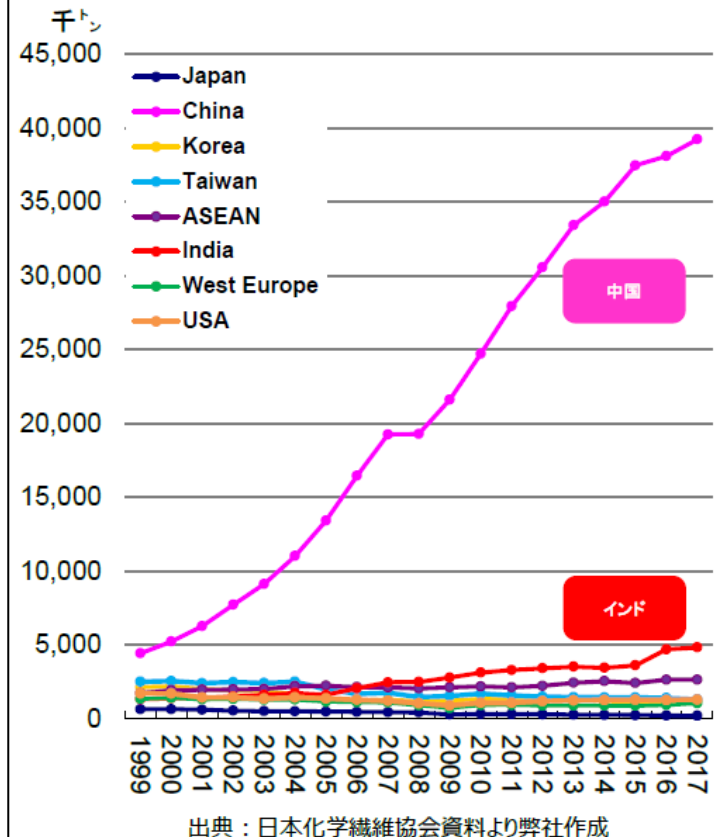
- 中国の繊維産業は生産量で世界の過半を占め、2017年の繊維・衣料品輸出額は30兆円を超えている。
- 特にポリエステル繊維は世界需要の伸びも大きく、中国での生産量の伸びがこれを支えている。

<主要国における繊維・繊維製品輸出内訳（2017年）>



「繊維産業の課題と 経済産業省の取組」(H30.6)掲載のデータより作成

<ポリエステル繊維生産量推移>

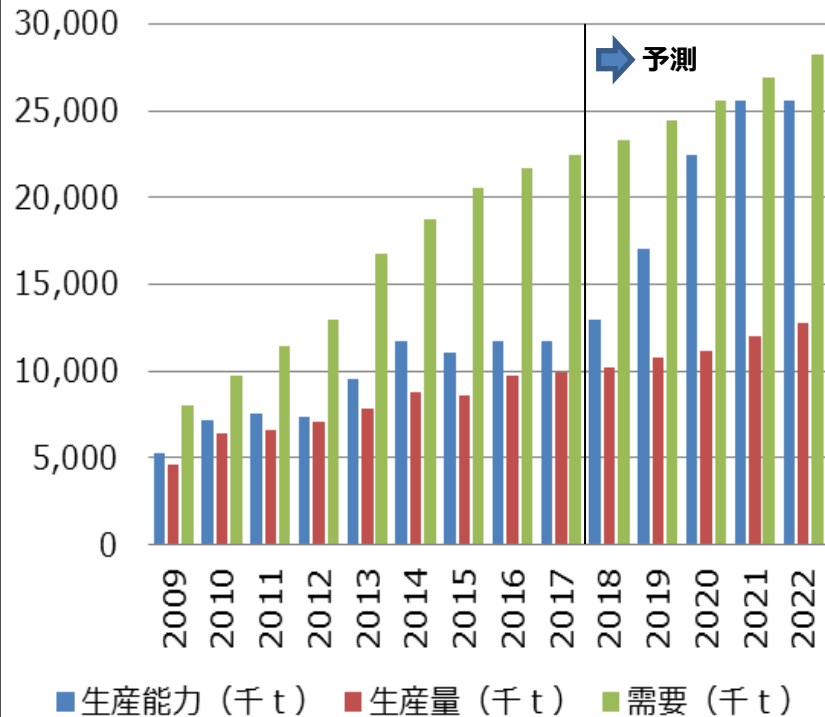


三菱商事(株) 石油産業競争力研究会 (第1回) 説明資料より

中国のパラキシレン需給状況

- ポリエステル原料の一つであるパラキシレンについては中国国内で大きな需給ギャップがあり、2017年には1200万tを超える輸入超過となっている。
- 輸入元は韓国・日本・台湾などのアジア諸国・地域が中心である。
- このギャップ解消のため、ポリエステルメーカーがパラキシレン製造設備新設に動いている。

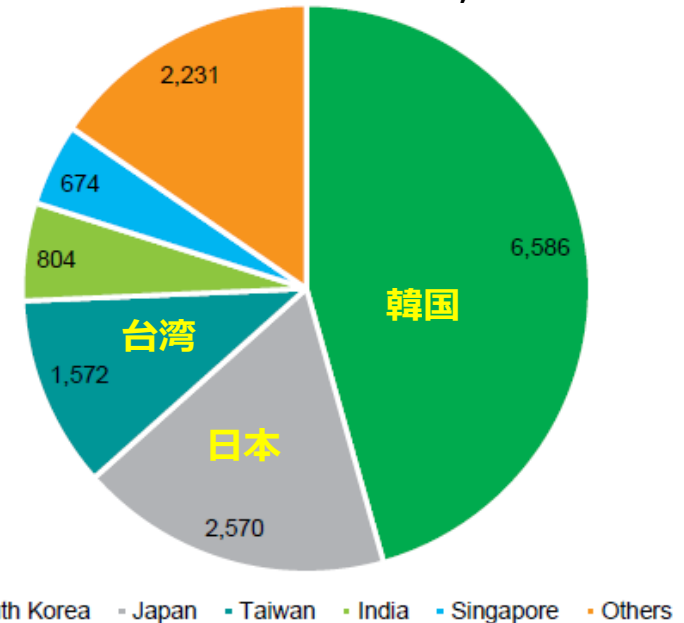
<中国のパラキシレン需給>



出所：世界の石油化学製品の今後の需給動向[METI 製造産業局2018.10]

<中国のパラキシレン輸入 (2017) >

(Total 14,437千t)



出所：IHS Markit

中国のパラキシレン（PX）製造プロジェクト

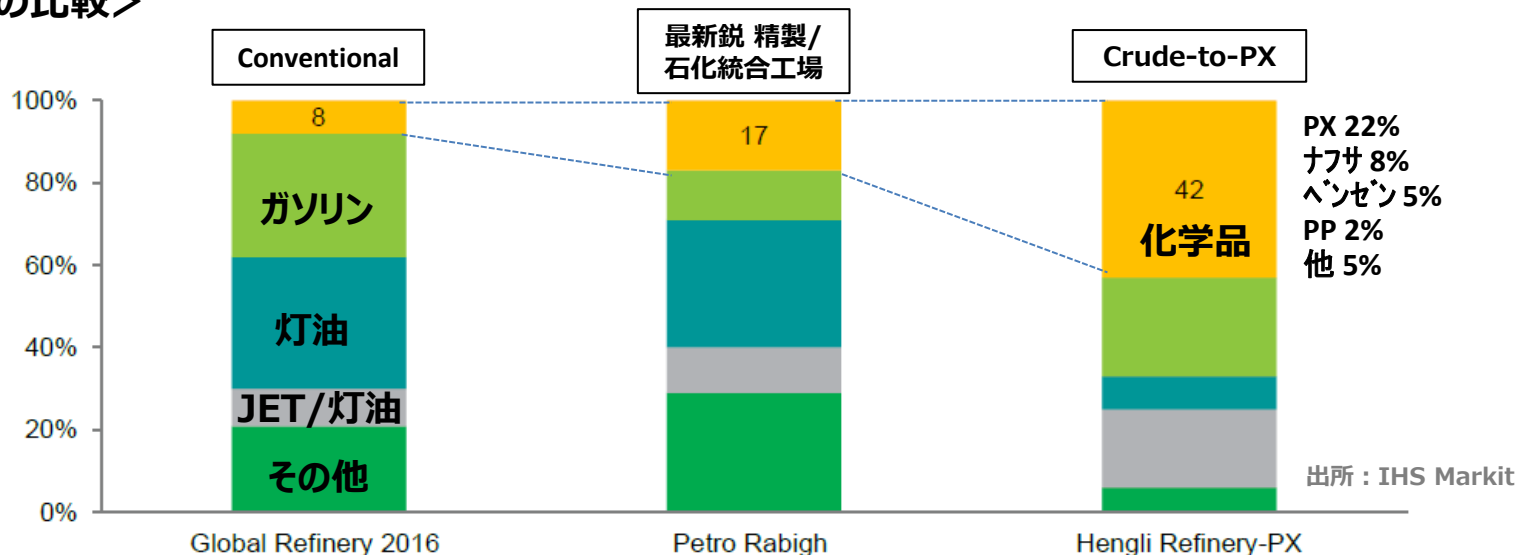
- ブルネイでの計画を入れると4つのプロジェクトが進行中。
- 原油からPXを製造することが主目的。対原油あたりPX得率は18-26%と高い。
- これまでのリファイナリーが燃料油製造を主体とし、石油化学製品は主としてナフサから製造される生産方式とは異なる。

<計画中のプロジェクト>

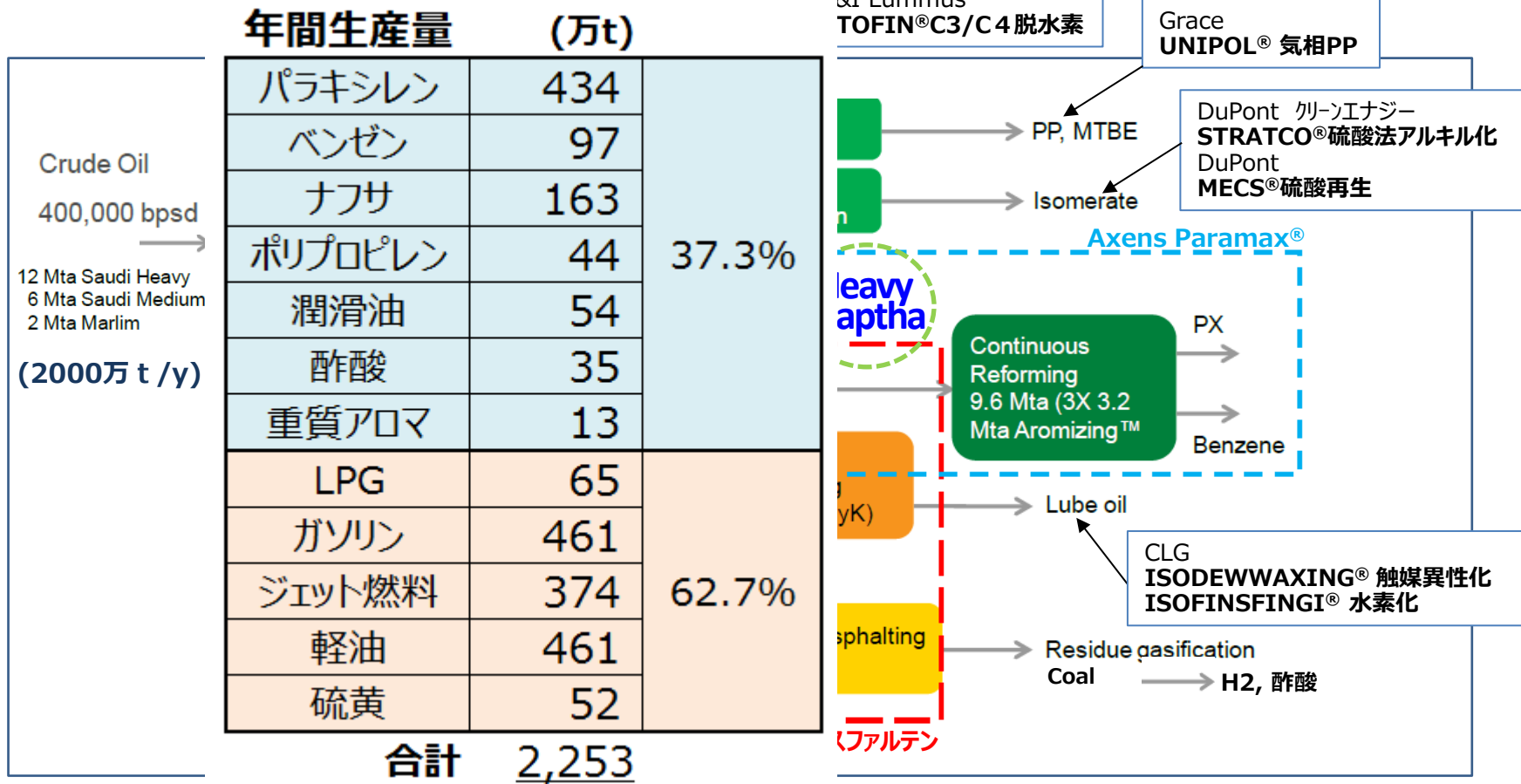
Project	Refinery capacity (MTPA)	p-Xylene capacity (MTPA)	(対原油PX得率)	Olefin capacity (MTPA)	Investment (\$ billion)	Estimated start of operation
Hengli Petrochemical	20	4.3	(22%)	1.5	11.4	December 2018
Zhejiang Petroleum and Chemical	40	10.4	(26%)	2.8	24	First phase March 2019; second phase 2021
Shenghong Refining and Integrated Petrochemical	16	2.8	(18%)	1.1	11.0	2021
Hengyi (Brunei) PMB Refinery—Petrochemical	8	1.5	(19%)	0.5	3.45	2019

出所：IHIS Markit

<成分得率の比較>



Hengliプロセスの概要





- 技術的には既存プロセスの組み合わせ。
- PX製造MAXを狙った装置構成。⇒ 水素化分解によるヘビーナフサ最大生産。
- 残油の全転化率は約90%。
- 原油2000万t/年から PX434万t/年を製造（日本のPX製造能力は368万t/年(2018)）。
- 副生物として、ガソリン461万t/年、JET374万t/年、軽油461万t/年も生成。

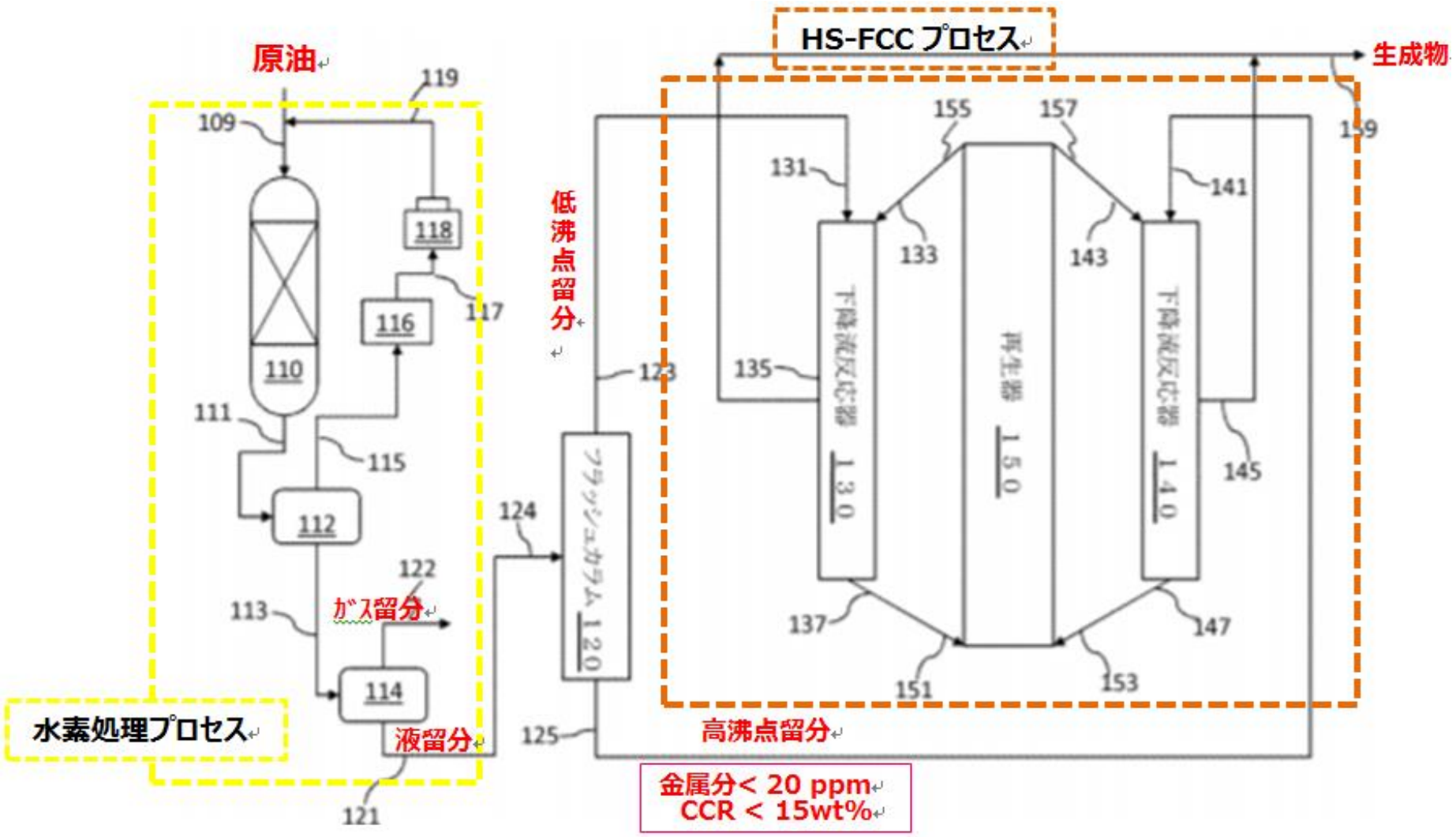
4-2. Saudi Aramco、SABICの取り組み

- Saudi AramcoとSABICはYanbuに200億ドルを投資し、処理能力2000万t/y (40万BPD)の COTCコンプレックスを建設する計画。
- 2025年完工予定で、化学品トータルで900万t/y (対原油得率45%) を生産。
- このほかにもSaudi Aramcoはマレーシア、中国、韓国でのプロジェクトに出資。
直近では遼寧省盤錦市での石油精製・石油化学コンプレックス建設のJV設立の契約を締結。30万BPD処理の製油所と、エチレン150万t/年、パラキシレン130万t/年。
投資額約100億\$、2024年稼働を目指す。 **(2019.2)**

<更なる化学品収率向上の取り組み> …… 対原油収率70～80%を目指す

- CB&Iのエチレンクラッカー技術、CLGの水素化処理技術、Saudi Aramcoの Thermal Crude to Chemicals (TC2C™) 技術を統合して、より高い化学品収率を目指すための共同開発契約を締結。 **(2018.1)** 
- Saudi AramcoとSiluria Technologyは各々のオレフィクラッキング技術とメタンの酸化カップリング技術を統合するためのライセンス供与を実施 **(2018.6)**
- Axens、TecnipFMCと共同開発および協力契約 (JDCA) を結びSaudi Aramcoの Catalytic Crude to Chemicals(CC2C™)技術の商用化を 目指す。基幹技術は HS-RFCC。 **(2019.1)** 

水素化処理とFCCの組み合わせ



5. まとめ

- 燃料油と化学品の需給バランスの変化に伴い、原油から化学品を直接製造するルートが出現している。
- これまでのように「蒸留分離された留分を活用する」のではなく、市場優位性のある目的物を最大生産するための装置構成が作られている。
- しかも、必ずしも新規技術ではなく既存技術の組み合わせでこれを実現している。
- いずれのプロセスも「水素化分解」が中核の技術であり、水素の入手性、コストが競争力に大きな影響を与えられられる。
- またプロセス全体での水素を含めた、物質のマネジメントが重要。

- すでに述べたように、日本でも、燃料油の需要減少への対応策の一つとして、石化シフトが挙げられているが、上述の大型プロジェクトが稼働し始めると、アジアの化学品の需給状況に大きな影響を及ぼすものと推測される。
- 他方、製油所余剰留分の有効利用による、化学品製造が必要な対策の一つであることに変わりはなく、市場動向を注視しつつターゲットを選定することが重要と考えられる。
- 今後バイオ芳香族が現実的な量で市場に参入し、またカーボンプライシングの様な環境施策が現実的な課題となってくる可能性があり、これらの動向にも注視が必要である。