

目 次

. 調査テーマ	2
. 調査目的	2
. 調査内容	2
. 調査方法	2
. 調査期間	3
. 調査結果	3
. 調査結果の詳細	5
1 . 用役等の CO ₂ 原単位等	5
2 . イソプロピルアルコール	7
2-1 . イソプロピルアルコールのプロセスフロー	7
2-2 . イソプロピルアルコールのユニットプロセス	7
[I-01] 採 油	7
[I-02] 原油の陸上輸送	10
[I-03] 原油の海上輸送	11
[I-04] 原油の蒸留（ナフサの製造）	12
[I-05] ナフサの分解精製（プロピレンの製造）	15
[I-06] イソプロピルアルコール(IPA)の製造	16
[I-07] イソプロピルアルコール(IPA)の輸送	16
2-3 . イソプロピルアルコールの CO ₂ 排出量の集計	16
3 . イオン交換水	17
3-1 . イオン交換水のプロセスフロー	17
3-2 . イオン交換水のユニットプロセス	18
[W-05] ナフサの分解精製（ベンゼンの製造）	18
[W-06] ナフサの分解精製（エチレンの製造）	19
[W-07] スチレンの合成	19
[W-08] スチレンの輸送	20
[W-09] イオン交換樹脂の製造	20
[W-10] イオン交換樹脂の輸送	21
[W-11] イオン交換水の製造	21
3-3 . イオン交換水の CO ₂ 排出量の集計	22

水なし印刷のCO₂排出量に関する調査

・調査テーマ

水なし印刷のCO₂排出量に関する調査

・調査目的

委託者殿が開発しておられる「水なし印刷方式」は、従来方式である「水あり印刷方式」よりも、薬品使用量が少ない、廃液処理工程が不要である等の利点があり、この点から環境負荷の小さい印刷方式といえる。

本調査では、両方式で差異がある イソプロピルアルコール(IPA)、水の使用量に焦点をあてて、CO₂排出量の観点から地球温暖化への影響を定量化し、「水なし印刷方式」の優位性を評価・検討した。

・調査内容

- (1) イソプロピルアルコールの製造プロセスを調査し、CO₂原単位(イソプロピルアルコールを1kg製造する際のCO₂排出量)を算出した。
- (2) 水のCO₂原単位は、既存の資料を調査し、文献に記載されている数値を採用した。
- (3) 委託者殿からご提供いただいた、イソプロピルアルコール、水の削減量から、「水なし印刷方式」を採用した際に削減できるCO₂排出量を集計した。
- (4) 算出したCO₂削減効果を、一般にもわかりやすい単位に換算して示した。

・調査方法

(1) 薬品の製造プロセス

書籍類、データベース検索(JOIS)、インターネット検索等の文献調査を中心に情報を整理・収集した。必要に応じて関係機関へのヒアリング調査を実施した。

(2) CO₂排出量の集計

上記の手法により収集した情報をもとに、イソプロピルアルコール、水に起因するCO₂排出量を、ライフサイクルアセスメント(LCA)の手法による積み上げ方式により集計した。

なお、水なし印刷方式を採用したことによるイソプロピルアルコール、水の使用削減量については、委託者殿から情報をご提供いただいた。

(3) CO₂排出量の換算

(2)の方法で算出したCO₂削減量について、一般にもわかりやすくアピール効果の高い単位量に換算して示した。

・調査期間

平成 17 年 7 月 27 日～平成 17 年 8 月 23 日

・調査結果

(1) CO₂ 原単位

イソプロピルアルコール(IPA)

イソプロピルアルコールの原料から製品に至るまでの工程で排出される CO₂ 量を集計すると次の通りであった。集計の詳細は 7 頁以降を参照。

	CO ₂ 排出量
イソプロピルアルコール 1kg あたり	1.19 kg-CO ₂
イソプロピルアルコール 1 ㍓あたり	0.939 kg-CO ₂

水

水の CO₂ 排出原単位については、既存の資料を調査した。その結果、以下に示す数値が得られた。ただし、イソプロピルアルコールの製造に使用されるイオン交換水の CO₂ 原単位は、本調査で集計した。集計の詳細は 17 頁以降を参照。

CO ₂ 排出の原単位	出典
上水（水道水）1kg あたり	1.87 × 10 ⁻⁴ kg-CO ₂ 国立環境研究所 ¹
工業用水 1kg あたり	1.36 × 10 ⁻⁴ kg-CO ₂ 化学経済研究所 ²
イオン交換水 1kg あたり	2.063 × 10 ⁻⁴ kg-CO ₂ 本調査結果

なお、水の比重は 1.0 であるので、各水 1 ㍓あたりの CO₂ 排出原単位は 1kg あたりの数値と同じである。

(2)水なし印刷方式の環境負荷低減効果

委託者殿からご提供いただいたデータによると、水なし印刷方式を採用した場合のイソプロピルアルコール等の使用量削減量は以下の通りである。

調査対象の印刷物					削減量(対水あり印刷比)		
サイズ	頁数	部数	用紙枚数	色数	IPA(L)	H 液(L)	水道水(L)
A4	80	45,000	99,000	4C	12.4	0.9	243.6
A4	100	30,000		4C	24.5	1.7	479.9
A4	62	20,000	79,000	4C	9.9	0.7	194.4

委託者殿ご提供データより抜粋。

¹ 国立環境研究所，産業連関表による二酸化炭素排出原単位 1995 .

² (社)化学経済研究所 / 基礎素材のエネルギー解析調査報告書 平成 5 年 9 月(1993.9)

本調査では、イソプロピルアルコールおよび水道水の削減量に着目した。 の例では、水なし印刷方式で印刷した場合、水あり印刷方式と比較して、イソプロピルアルコールが24.5L、水道水 479.9 L の使用量が削減される。

これらを、水なし印刷方式採用による CO₂ 排出削減量に換算すると以下ようになる。A4 100 頁 3 万部印刷あたり、イソプロピルアルコールと水道水を合わせて 23.1 kg-CO₂ の削減効果がある。

	調査対象の印刷物				環境負荷低減効果 (対水なし印刷比)			
	サイズ	頁数	部数	印刷頁数	イソプロピルアルコール		水道水	
	A4	100	30,000	3,000,000	24.5 リットル	23.0 kg-CO ₂	479.9 リットル	0.0897 kg-CO ₂
					合 計			
					23.1 kg-CO ₂			

(3) 1 世帯当たりの電力消費量への単位換算

(2)で算出した CO₂ 排出削減量を、一般にもわかりやすくアピール効果の高い単位「1 世帯の電力消費による CO₂ 排出量 1 日分」に換算する。

電気事業連合会のデータによると、2002 年度における 1 世帯あたりの電力消費量の平均値は約 300kWh/月である (図 1)。一方、電力消費による CO₂ 排出原単位は 3.78×10^{-1} kg-CO₂/kWh であるので (7 頁参照) 1 世帯 1 日あたりの電力消費による CO₂ 排出量は、3.78 kg-CO₂ である。

よって、水なし印刷方式採用による CO₂ 排出量削減効果は、A4 100 頁 3 万部印刷あたり、1 世帯の電力消費による CO₂ 排出量 6 . 1 日分に相当する。

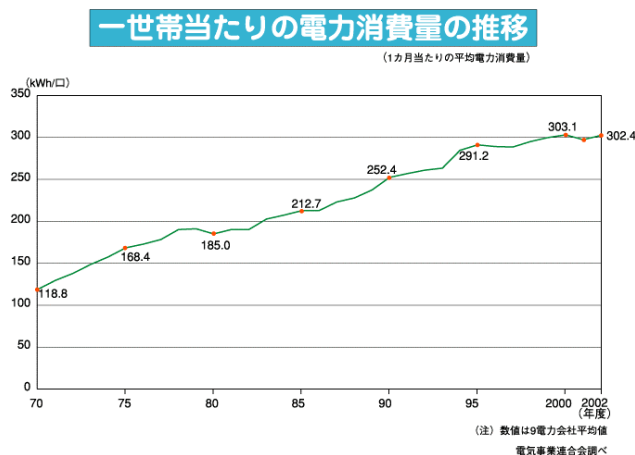


図 1 一世帯あたりの電力消費量の推移³

³ 電気事業連合会ホームページ <http://www.fepc.or.jp/thumbnail/zumen/1-27.html> .

「水なし印刷方式」採用による CO₂ 排出削減効果（「水あり印刷方式」との比較）

A 4 100 頁 3 万部 印刷あたりの CO₂ 排出削減量 = 23.1 kg-CO₂

1 世帯の電力消費 1 日分 = 10 kWh = 3.78 kg-CO₂

⇒ 1 世帯の電力消費による CO₂ 排出量 6.1 日分に相当

・ 調査結果の詳細

1. 用役等の CO₂ 原単位等

燃料や電力等の消費における CO₂ 排出量、輸送等における CO₂ 排出量など、用役等の CO₂ 原単位等を調査した。なお、本調査で使用しない燃料等も参考として記載した。

(1) 燃料、電力等のエネルギー

	単位	kcal	MJ		単位	kcal	MJ		
電 力	kWh	2,150	9.00	石 油	原油	リットル	9,126	38.20	
石 炭	原料炭(国内)	kg	7,700		原油	kg	7,757		
	原料炭(輸入)	kg	6,904		28.90	ガソリン	リットル	8,266	34.60
	一般炭(国内)	kg	5,375		22.50	ナフサ	リットル	8,146	34.10
	一般炭(輸入)	kg	6,354		26.60	ジェット油	リットル	8,767	36.70
	無煙炭(国内)	kg	4,300			灯油	リットル	8,767	36.70
	無煙炭(輸入)	kg	6,498		27.20	軽油	リットル	9,126	38.20
	亜炭	kg	4,109		17.20	A 重油	リットル	9,341	39.10
コークス	kg	7,191	30.10		B 重油	リットル	9,651	40.40	
コークス炉ガス	m ³	5,041	21.10		C 重油	リットル	9,962	41.70	
高炉ガス	m ³	815	3.41		潤滑油	リットル	9,603	40.20	
転炉ガス	m ³	2,009	8.41		他重質石油製品	kg	10,105	42.30	
天然ガス	m ³	9,771	40.90		精油所ガス	m ³	10,726	44.90	
LNG	kg	13,019	54.50		オフガス	kg	10,000		
都市ガス	m ³	9,818	41.10		オイルコークス	kg	8,504	35.60	
木 材	kg	4,000			LPG	kg	11,992	50.20	

* : 資源エネルギー庁総合政策課. 平成14年2月

(2) 輸送や用役等でのエネルギー(燃料、電力)消費量

輸送におけるエネルギー消費量

		エネルギー消費量(/トン・km)
石油タンカー		重油: 1.14×10^{-3} リットル
鉱石・地金運搬船		重油: 3.26×10^{-3} リットル
トラック	10t 車	軽油: 2.70×10^{-2} リットル
	4.5t 車	軽油: 5.56×10^{-2} リットル
	2t 車	軽油: 6.50×10^{-2} リットル
	(空車時)	(上記 $\times 0.8/\text{km}$)
鉄道	(日本)	電力: 6.0444×10^{-2} kWh
	(北米・豪州)	軽油: 1.09×10^{-2} リットル

用役におけるエネルギー消費量

		エネルギー消費量
蒸気	1トン 当たり	重油: 72.6リットル
圧縮空気	1N・m ³ 当たり	電力: 0.12kWh

設備のエネルギー消費量

動力設備	原動機の定格電力の70%
加熱・冷却設備	装置の定格電力の50%

(3) 燃料等の消費におけるCO₂排出量

燃料消費における炭酸ガス排出量

	単位	kg-CO ₂	比重	C%
ガソリン	/リットル	2.429	0.75	88.4%
軽油	/リットル	2.721	0.83	90.0%
C重油	/リットル	3.088	0.95	88.7%
LPG	/kg	3.018	0.55	82.4%
LNG	/kg	2.789	0.42	76.1%
石炭	/kg	2.931		80.0%
コークス	/kg	3.151		86.0%
高炉ガス	/kg	0.821		22.4%
コークス炉ガス	/kg	0.821		22.4%
都市ガス	/Nm ³	2.260	0.81	76.1%

電力消費における炭酸ガス排出量

	kg-CO ₂ /kWh
日本	3.7798×10^{-1}
アメリカ	5.5140×10^{-1}
オーストラリア	7.6244×10^{-1}

2. イソプロピルアルコール

2-1. イソプロピルアルコールのプロセスフロー

イソプロピルアルコールのプロセスフローを図 2-1 に示した。図中における[I-**]は 2-2.項に記述したユニットプロセスの番号を示している。

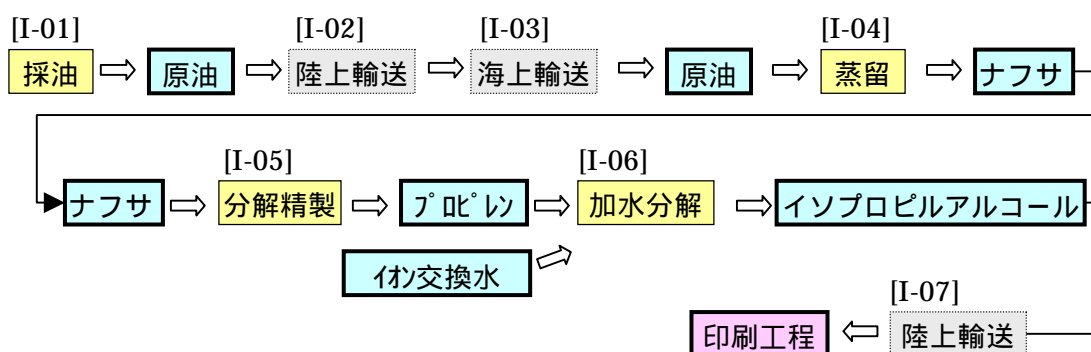


図 2-1 イソプロピルアルコールのプロセスフロー

2-2. イソプロピルアルコールのユニットプロセス

イソプロピルアルコール製造のユニットプロセスを以下に示した。各ユニットプロセスの番号は、プロセスフローに記載した番号と同じである。

[I-01] 採油

原油 1kg 当たり			
原料	原油	1	kg
用 役	LNG	6.1590×10^{-4} kg	タービン
	LNG	2.1485×10^{-3} kg	エマルジョン破壊

採油系統の概念を図2-2に示した。

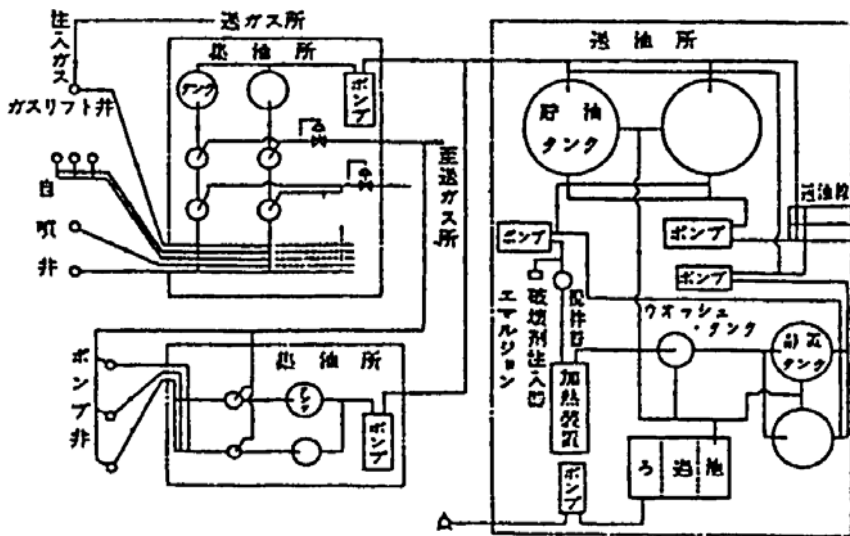


図2-2 採油系統の概念図

採油方法には以下のような3法がある。

自噴採油

開発初期の段階では、油・ガス層は十分な圧力を持っていて、坑口のパルブを開くと油とガスが地上へ噴出してくる。自然のエネルギーで噴出してくるのであるから、最も経済的な方法である。

ガスリフト採油

ガスを地表から坑井内の適当な深度まで送り込んで、油層から上がってくる生産流体中に吹き込み、採油する方法である。人工的にガスを吹き込むことによって、油が坑井内を地表に上がってくる際の見かけの密度が小さくなり、油の産出が容易になる。

ポンプ採油

採油期間が長く、油層圧力が低下すると、ガスリフトの効率が低下してくる。この段階になると、坑井内にポンプを降下して採油するポンプ採油が行われる。ガス源が十分入手できない場合は、自噴停止後ただちにポンプ採油に切り替えられる。

油田の開発・生産段階が進むと油層内の油が坑井に流入しなくなり、前述の方法では採油できなくなるが、このときにはまだ半分以上の油が油層内に残っているのが一般的である。そこで、人為的に油層にエネルギーを加えて回収率を向上させる増進回収法がいくつか開発されているが、ここでは触れない。

集油所のおもな機能は、散在している坑井からの産出物を系統的に集約して処理することである。原油とガスはフローラインにより集油所に導かれ、まずセパレーターにいれられてガスと液体とに分離される。セパレーターの一例を図2-3に示した。分離

されたガスは計量ののちに送ガス所へ送られる。液体はタンクに貯えて一定時間ごとに計量する。液体中に遊離状態の水が多い場合には、適当時間静置して分離した水を排出する。

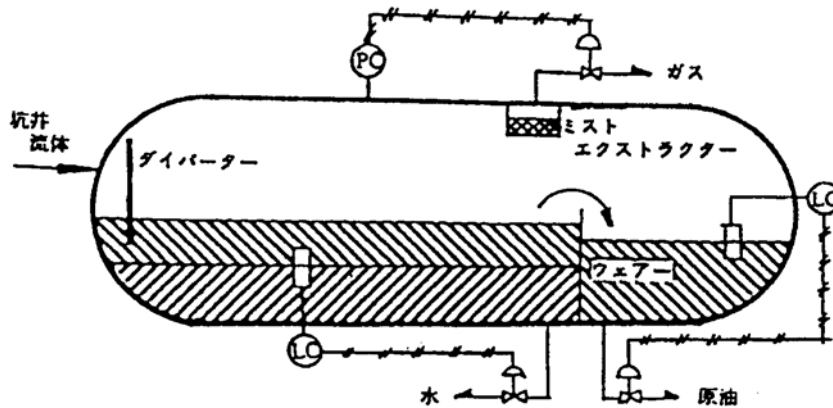


図2-3 水平型3相セパレーター

各集油所の計量用タンクに溜まった原油は中央送油所の貯油タンクに移送される。水と油でエマルジョンが形成されていて集油所のセパレーターやタンク内で分離できなかった場合は、エマルジョン破壊処理が行われる。エマルジョン処理プラントは送油所に近接して設置され、送油所にいったん集積された原油はエマルジョン処理の工程を経て製品タンクに貯えられる。廃水は原則として地下に圧入するが、適切な処理をしたうえで河川または海洋に放流することもある。

エマルジョン処理法としては、薬品を添加したのち油 - 水分離装置にとおして水を除去したうえで、さらに一定時間静置する方法が一般に採用されている。

以上の情報に基づき、採油プロセスについて次の5点を設定した。

採掘地、採掘規模等を下記のとおりとする。

油井の所在地	: ガッチサラン (イラン)
油井の数	: 29
年間生産量	: 324×10^6 bbl
井戸1本当りの平均採掘規模	: 30,000 bbl/日
油井の深さ (平均)	: 500 ft
採油方法	: ポンプ採油
ポンプ数	: 10基
1基当りの汲み上げ量	: 3,000 bbl/日
運転時間	: 24時間/日

ポンプの定格と負荷率を次のように仮定する。

ポンプ定格 : 67.5 kW
負荷率 : 70%

原油の比重は0.85とする。

原油1bblの重量 : $1.5899 \times 10^2 \times 0.85 = 135.14 \text{ kg}$
(1bbl = 1.5899×10^2 リットル)

ポンプ用の電力は、ガスタービンによる自家発電で供給する。

水分を分離するために、エマルジョン破壊処理を行う。

破壊処理の燃料原単位 : 15,000BTU/bbl・原油

井戸1本の1日あたりのポンプ採油 (, , より)

消費電力量 : $67.5 \times 24 \times 0.7 \times 10 = 11340 \text{ kWh}$

原油生産量 : $30000 \times 135.14 = 4.0542 \times 10^6 \text{ kg}$

原油1kgあたり

・ポンプ採油に必要な電力量

$11340 / (4.0542 \times 10^6) = 2.7971 \times 10^{-3} \text{ kWh/kg} \cdot \text{原油}$

・発電のための燃料の消費量

$2.7971 \times 10^{-3} \times 860 / 0.3 = 8.0184 \text{ kcal/kg} \cdot \text{原油}$

$= 8.0184 / 13019 = 6.1590 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{LNG/kg} \cdot \text{原油}$

ただし、1kWh = 860kcal, 発電効率 = 30%

LNG発熱量 = 13019kcal/kg・LNG

・エマルジョン破壊処理のための燃料の消費量

$(15000 \times 0.2520) / 135.14 = 2.7971 \times 10 \text{ kcal/kg} \cdot \text{原油}$

$= 2.7971 \times 10 / 13019 = 2.1485 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{LNG/kg} \cdot \text{原油}$

[I-02] 原油の陸上輸送

原油 1kg 当たり			
原料	原油	1	kg
用 役	LNG	$3.5250 \times 10^{-4} \text{ kg}$	タービン

原油採掘地から積出港までの陸上輸送の方法には、パイプライン、タンクローリー、鉄道、あるいはそれらの組み合わせなどがある。ここではパイプラインを前提として次のように設定した。

採掘地，積出港等を下記のとおりとする。

採掘地 : ガッチサラン
積出港 : カーグ島
パイプ径 : 10 cm
輸送量 : 20,000 m³/日
輸送距離 : 150 km
稼働時間 : 24時間/日
ポンプ数 : 3基

ポンプの定格と負荷率を次のように設定した。

ポンプ定格 : 540 kW
負荷率 : 70%

ポンプ用の電力はガスタービンによる自家発電で供給する。

パイプライン1日あたり

電力消費量 : $540 \times 3 \times 24 \times 0.7 = 2.7216 \times 10^4$ kWh

原油輸送量 : $20000 \times 0.85 \times 10^3 = 1.7 \times 10^7$ kg (原油の比重:0.85)

原油1kgあたり

電力消費量

$27216 / (1.7 \times 10^7) = 1.6009 \times 10^{-3}$ kWh/kg・原油

発電のための燃料の消費量

$1.6009 \times 10^{-3} \times 860 / 0.3 = 4.5892$ kcal/kg・原油

$= 4.5892 / 13019 = 3.5250 \times 10^{-4}$ kg・LNG/kg・原油

ただし、1kWh = 860kcal，発電効率 = 30%

LNG発熱量 = 13019kcal/kg・LNG

[I-03] 原油の海上輸送

タンカー	モード	2	
	距離	8.7000×10^3 km	燃料：重油

産油地をガッチサラン(イラン)と想定したが、日本までの原油の海上輸送については、原油輸入における平均的な海上輸送(距離)であるとして集計した。

原油はタンカーによる海上輸送で日本に輸入される。わが国の原油の海上荷動き量は、次の表のとおりである。本表の値は輸出入の合計であるが、わが国は原油を輸出していないので、これらの値は輸入量であると考えてよい。

わが国の原油の海上荷動き量

(単位：100万ト)

	56	57	58	59	60	61	62	63	元	2
荷動き量	197.6	184.4	179.8	185.2	170.2	164.0	160.5	166.9	178.0	195.5
対前年伸び率(%)	10.6	6.7	2.5	3.0	8.1	3.6	2.1	4.0	6.6	9.8

(単位：10億ト・マイル)

	56	57	58	59	60	61	62	63	元	2
荷動き量	1106	1017	993	1002	922	884	854	886	963	1055
対前年伸び率(%)	10.9	8.0	2.4	0.9	8.0	4.0	3.4	3.7	8.7	9.6

注1. 大蔵省貿易統計に基づき、海上交通局が集計したもの。

2. 輸出入の合計

(世界の原油荷動き量のデータは2002年までであるが、我が国の最近のデータが入手できなかったため、上表のデータを使用する。原油を輸入している国は大きく変化していないと推定される)

昭和56年から平成2年までの原油の輸送距離を見ると、5570～5320マイルで平均すると約5430マイルである。そこで、原油の平均輸送距離を次のように設定した。

片道平均輸送距離 = 約5430マイル 8700km (マイル = 1.609km)

なお、原油タンカーの場合、復路はバラスト水を積んで運航するので、復路での重油消費量は厳密には往路より少ないはずであるが、あまり大きくは変わらないと考えられるので、往路と復路は同じとした。

[I-04] 原油の蒸留 (ナフサの製造)

ナフサ 1kg 当たり			
原料	原油	1	kg
用 役	電力	2.1402×10^{-3}	kWh
	重油	1.4002×10^{-2}	リットル
	冷却水 (補給水)	1.8616	リットル
	蒸気 (補給水)	2.2203×10^{-2}	リットル
			工業用水
			イオン交換水

石油精製工程の一例を図2-4に示した。イソプロピルアルコールの原料として使用されるプロピレンはナフサから製造され、ナフサは石油精製により製造される。図2-4に示したように、石油精製には蒸留のほかに水素化精製や脱硫など種々の工程を含んでいるが、ナフサの製造にかかわるのは蒸留プロセスのみである。そこで、本調査ではナフサの製造プロセスとしては蒸留のみを考慮することとした。

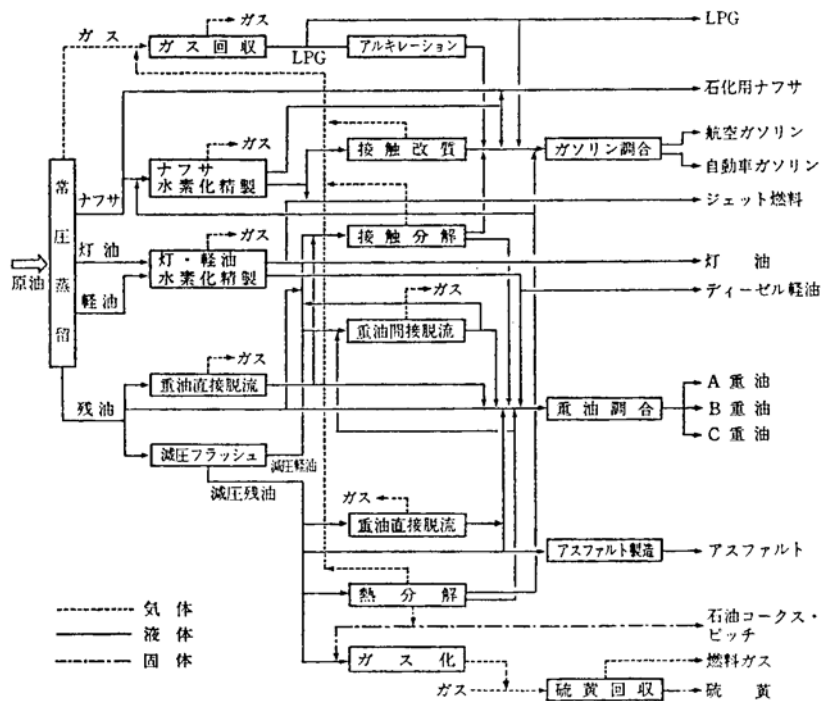


図2-4 石油精製工程の例

常圧蒸留は原油精製の第一段階として、原油を蒸留して適当な沸点範囲をもつ各留分に分ける工程で、通常トッピングと呼ばれている。常圧蒸留の用役原単位は、処理する原油性状や設備により変わる。常圧蒸留の用役原単位の一例を次表に示した。

常圧蒸留の用役原単位の一例

(原油 1000BPSD あたり)

原油比重	(15/4)	0.904	0.825
燃料	(10 ³ kcal/h)	630	839
スチーム	(kg/h)	151	113
電力	(kW)	10	13
冷却水	(ト/h)*	85	114

BPSD : barrel per stream day(稼働日当たりパーレル : 原油生産能力を示す)

* : 10 上昇ベース

(Elshout,R.V.,Hydrocarbon Processing.61(7),109(1982)より)

原油の比重を 0.85 とし、上表の各用役原単位を比重で比例配分できるものと仮定すると次の通りである。

・ 1時間当たりの用役（常圧蒸留）

燃料 : $839 + (630-839) \times (0.85-0.825)/(0.904-0.825) = 772.86(10^3 \text{ kcal/h})$
 スチーム : $113 + (151-113) \times (0.85-0.825)/(0.904-0.825) = 125.02(\text{kg/h})$
 電力 : $13 + (10-13) \times (0.85-0.825)/(0.904-0.825) = 12.051(\text{kW})$
 冷却水 : $114 + (85-114) \times (0.85-0.825)/(0.904-0.825) = 104.82(\text{ト/h})$

・ 1日当たりの用役（常圧蒸留）

燃料 : $772.86 \times 10^3 \times 24 = 1.8549 \times 10^7 \text{ kcal}$
 スチーム : $125.02 \times 24 = 3.0005 \times 10^3 \text{ kg}$
 電力 : $12.051 \times 24 = 2.8922 \times 10^2 \text{ kWh}$
 冷却水 : $104.82 \times 24 = 2.5157 \times 10^3 \text{ ト}$

・ 1日の原油処理量

$1000 \times 1.5899 \times 10^2 \times 0.85 = 1.3514 \times 10^5 \text{ kg}$

原油からの製品の収率の例を次表に示した。本表より、原油はほとんど無駄なく利用されていることがわかる。そこで、原油のうちナフサにならなかった部分はすべて副産品とみなすことにする。用役等を製品および副産品の重量比で配分すると、ナフサ 1 kgあたりの用役は原料の原油 1 kgあたりの用役に等しい。

以上より、ナフサ 1 kgを製造するための蒸留プロセスの原単位は次のようになる。

原料 原油 : 1kg
 用役 電力 : $(2.8922 \times 10^2)/(1.3514 \times 10^5) = 2.1402 \times 10^{-3} \text{ kWh}$
 燃料 : $(1.8549 \times 10^7)/(1.3514 \times 10^5) = 1.3726 \times 10^2 \text{ kcal}$
 $= 1.4002 \times 10^{-2} \text{ トル・重油}$
 スチーム : $(3.0005 \times 10^3)/(1.3514 \times 10^5) = 2.2203 \times 10^{-2} \text{ kg}$
 用水 : $2.2203 \times 10^{-2} + 1.8616 = 1.8838 \text{ トル}$
 冷却水(補給水) : $1.8616 \text{ トル} = (2.5157 \times 10^3 \times 10^3)/(1.3514 \times 10^5) \times 0.1$
 (冷却水は循環使用するものとし、補給水量を10%とした)
 蒸気(補給水) : $2.2203 \times 10^{-2} \text{ トル}$

輸入原油からの製品の収率(一例)

(単位 : vol%)

原油名(国名)	ナフサ	灯油	軽油	常圧残油	その他
大慶(中国)	10.1	7.0	5.1	74.1	3.7
Seria(ブルネイ)	24.1	18.1	34.6	21.8	1.4
Sumatra Light(インドネシア)	15.0	10.0	13.0	62.0	-
Duri(インドネシア)	4.7	5.9	9.8	79.6	-

原油名(国名)	ナフサ	灯油	軽油	常圧残油	その他
Iranian Light (イラン)	21.1	13.2	19.7	43.5	2.5
Iranian Heavy (イラン)	19.1	14.1	16.3	49.0	1.5
Arabian Light (サウジアラビア)	25.0	13.5	13.5	48.0	-
Arabian Heavy (サウジアラビア)	20.0	10.0	11.0	56.5	2.5
Kuwait (クウェート)	19.5	11.6	12.8	53.2	2.9
Khafji (中立地帯)	17.4	9.1	17.3	52.8	3.4
Qatar (カタール)	24.1	17.9	21.1	32.2	4.7
Murban (アラブ首長国連邦)	24.3	14.3	17.6	42.5	1.3
Dubai (アラブ首長国連邦)	24.3	10.9	10.7	54.1	-
Maya (メキシコ)	15.5	7.6	13.9	62.7	0.3

[I-05] ナフサの分解精製(プロピレンの製造)

プロピレン 1kg 当たり			
原料	ナフサ	1.2481	kg
用役	電力	1.9380×10^{-2}	kWh
	重油	2.4126×10^{-1}	リットル
	オフガス	2.4806×10^{-1}	kg
	冷却水(補給水)	1.5504×10	リットル
	ボイラー給水	1.5504×10^{-1}	リットル
			2.3643 × 10 ³ kcal
			発生：控除(10,000kcal/kg)
			工業用水
			イオン交換水

ナフサの分解精製により分解油が得られる。併産品としては、エチレン、C₄留分、オフガス、分解重油などが得られる。オフガスや分解重油は燃料として使用される。

製品がプロピレンで、エチレン、ベンゼン、C₄留分を副産品として、原料および用役を配分した。オフガスは燃料として控除した。

ナフサの分解法には、中程度の分子量まで分解するメジウム分解とより低分子化するシビア分解とがある。ここではメジウム分解を行うものとし、次のように原単位を設定した。

プロピレン 1kgあたり

原料	ナフサ	: 1.2481	kg
用役	電力	: 1.9380×10^{-2}	kWh
	燃料	: 2.3643×10^3	kcal(重油: 2.4126×10^{-1} リットル)
	オフガス(控除)	: 2.4806×10^{-1}	kg
	用水	: 1.5659×10	リットル

冷却水(補給水) 1.5504×10^2 ㍓
 (冷却水: 1.5504×10^2 ㍓ の10%を補給水とした)
 ボイラー給水 1.5504×10^{-1} ㍓

[I-06] イソプロピルアルコール(IPA)の製造

イソプロピルアルコール 1kg 当たり			
原料	プロピレン	0.75 kg	
用 役	電 力	1.15×10^{-1} kWh	
	蒸 気	2.1 kg	
	プロセス水	1.5×10^2 ㍓	イオン交換水
	冷却水	7.0×10^{-1} ㍓	工業用水

イソプロピルアルコールは、プロピレンの水和反応で製造されるが、触媒の存在下に水蒸気を用いて直接水和する方法(直接水和法)、硫酸化後、加水分解を行う方法(間接水和法)とがある。世界的には間接水和法が主流であるが、日本では直接水和法が多く採用されている。

本調査では、石油精製により精製したプロピレンから、直接水和法によりイソプロピルアルコールを製造する場合を想定した。なおプロセス水として使用するイオン交換水は、次項の調査結果により得られた製造原単位の数値を使用した。

[I-07] イソプロピルアルコール(IPA)の輸送

イソプロピルアルコール 1kg 当たり			
トラック10t車	モード	1.8	
	距離	10km	IPA製造工場 印刷工場

イソプロピルアルコールの製造工場(川崎)から印刷工場(横浜)まで、10tトラックで輸送するとした。

2-3. イソプロピルアルコールのCO₂排出量の集計

前項のユニットプロセスをもとに、イソプロピルアルコール1kgあたりのCO₂排出量を集計した。なお、表中の「係数」は、最終製品のイソプロピルアルコールを1kg製造するために必要な各ユニットプロセスの原料量を表している。

イソプロピルアルコールのユニットプロセスとCO₂排出量の集計

イソプロピルアルコール 1kg あたり CO₂排出量 = 1.19 kg・CO₂

イソプロピルアルコール 1リットル あたり CO₂排出量 = 9.39 × 10⁻¹ kg・CO₂

イソプロピルアルコール

集計表

プロセス				係数	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)		
NO.		原料			集計表		
					製造・輸送計	輸送	製造
[I-01]	採油 (原油 1kgあたり)	原油	: 1.00E+00 kg	9.36E-01	7.22E-03		7.217E-03
[I-02]	原油の陸上輸送 (原油 1kgあたり)	原油	: 1.00E+00 kg	9.36E-01	9.20E-04	9.20E-04	
[I-03]	原油の海上輸送 (原油 1kgあたり)	原油	: 1.00E+00 kg	9.36E-01	5.73E-02	5.73E-02	
[I-04]	原油の蒸留 (ナフサ 1kgあたり)	原油	: 1.00E+00 kg	9.36E-01	4.61E-02		4.61E-02
[I-05]	ナフサの分解精製 (プロピレン 1kgあたり)	ナフサ	: 1.25E+00 kg	9.36E-01	5.66E-01		5.66E-01
[I-06]	プロピレンの加水分解 (イソプロピルアルコール 1kgあたり)	プロピレン	: 7.50E-01 kg	7.50E-01	5.16E-01		5.16E-01
[I-07]	イソプロピルアルコールの輸送 (イソプロピルアルコール 1kgあたり)	イソプロピルアルコ-	: 1.00E+00 kg	1.00E+00	1.32E-03	1.32E-03	
合計					1.19E+00	5.82E-02	1.14E+00
IPA					1.00E+00 kg		
合計					9.39E-01	4.58E-02	8.93E-01
IPA					1.00E+00 リットル		

3. イオン交換水

3-1. イオン交換水のプロセスフロー

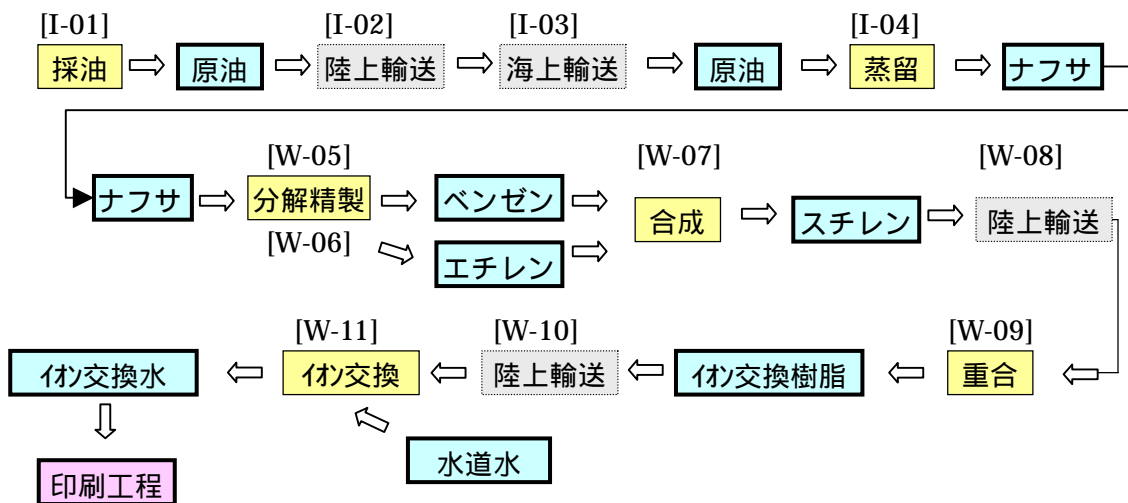


図 2-1 イオン交換水のプロセスフロー

3-2. イオン交換水のユニットプロセス

[I-01] ~ [I-04]は、イソプロピルアルコールの項を参照。

[W-05] ナフサの分解精製(ベンゼンの製造)

ベンゼン 1kg 当たり			
原料	ナフサ	1.2481	kg
用 役	電 力	1.9380×10^{-2}	kWh
	重 油	2.4126×10^{-1}	㍉㍉㍉
	オフガス	2.4806×10^{-1}	kg
	冷却水(補給水)	1.5504×10	㍉㍉
	ボイラー給水	1.5504×10^{-1}	㍉㍉
			2.3643 $\times 10^3$ kcal
			発生：控除(10,000kcal/kg)

ベンゼンはナフサの分解精製により得られる。副産品としてエチレン、プロピレン、C₄留分およびオフガスや分解重油などが得られる。オフガスと分解重油は燃料として使用される。

製品のベンゼンおよび副産品のエチレン、プロピレン、C₄留分等で原料および用役を重量配分した。オフガスは燃料として控除した。

ナフサの分解法には、中程度の分子量まで分解するメジウム分解とより低分子化するシビア分解とがある。ここではメジウム分解を行うものとし、次のように原単位を設定した。

エチレン 1kgあたり

原料	ナフサ	:	1.2481	kg
用役	電 力	:	1.9380×10^{-2}	kWh
	燃 料	:	2.3643×10^3 kcal(重油： 2.4126×10^{-1} ㍉㍉㍉)	
	オフガス(控除)	:	2.4806×10^{-1}	kg
	用 水	:	1.5659×10	㍉㍉
	冷却水(補給水)		1.5504×10	㍉㍉
	(冷却水： 1.5504×10^2 ㍉㍉ の10%を補給水とした)			
	ボイラー給水		1.5504×10^{-1}	㍉㍉

[W-06] ナフサの分解精製(エチレンの製造)

エチレン 1kg 当たり			
原料	ナフサ	1.2481	kg
用 役	電 力	1.9380×10^{-2}	kWh
	重 油	2.4126×10^{-1}	リットル
	オフガス	2.4806×10^{-1}	kg
	冷却水(補給水)	1.5504×10	リットル
	ボイラー給水	1.5504×10^{-1}	リットル
			発生：控除(10,000kcal/kg)

エチレンはナフサの分解精製により得られる。副生品としてプロピレン、ベンゼン、C₄留分およびオフガスや分解重油などが得られる。オフガスと分解重油は燃料として使用される。

製品のエチレンおよび副生品のプロピレン、ベンゼン、C₄留分等で原料および用役を重量配分した。オフガスは燃料として控除した。

ナフサの分解法には、中程度の分子量まで分解するメジウム分解とより低分子化するシビア分解とがある。ここではメジウム分解を行うものとし、次のように原単位を設定した。

ベンゼン 1kgあたり

原料	ナフサ	: 1.2481	kg
用役	電 力	: 1.9380×10^{-2}	kWh
	燃 料	: 2.3643×10^3	kcal(重油： 2.4126×10^{-1} リットル)
	オフガス(控除)	: 2.4806×10^{-1}	kg
	用 水	: 1.5659×10	リットル
	冷却水(補給水)	1.5504×10	リットル
	(冷却水： 1.5504×10^2 リットルの10%を補給水とした)		
	ボイラー給水	1.5504×10^{-1}	リットル

[W-07] スチレンの合成

スチレン 1kg 当たり			
原 料	ベンゼン	7.666×10^{-1}	kg
	エチレン	2.7832×10^{-1}	kg
用 役	電 力	3.9063×10^{-2}	kWh
	重 油	1.5453×10^{-1}	リットル
	蒸 気	9.7656×10^{-4}	kg
	冷却水	3.9063×10	リットル
			イオン交換水
			工業用水

スチレンはベンゼンとエチレンから合成され、副産品としてトルエンが得られる。スチレンを1ト合成すると、トルエンが0.024ト副生する。合成されたスチレンとトルエンの重量により用役等を配分してスチレンの原単位を次のように設定した。

スチレン 1kgあたり

原料	ベンゼン	7.85×10^{-1}	$/1.024 = 7.6660 \times 10^{-1}$ kg
	エチレン	2.85×10^{-1}	$/1.024 = 2.7832 \times 10^{-1}$ kg
用役	電力	40×10^{-3}	$/1.024 = 3.9063 \times 10^{-2}$ kWh
	燃料	1.55×10^{-3}	$/1.024 = 1.5137 \times 10^{-3}$ kcal(重油： 1.5453×10^{-1} リットル)
	蒸気	$1 \times 10^{-3}/1.024$	$= 9.7656 \times 10^{-4}$ kg
	冷却水	40	$/1.024 = 3.9063 \times 10$ リットル

[W-08] スチレンの輸送

スチレン 1kg 当たり			
タンクローリー 10t車	モード	1.8	
	距離	400km	スチレン製造工場 イオン交換樹脂製造工場

スチレンの製造工場（川崎）からイオン交換樹脂製造工場（福島）まで、タンクローリー10t車で輸送するとした。

[W-09] イオン交換樹脂の製造

イオン交換樹脂 1kg あたり			
原料	スチレン	1.1111 kg	
用役	電力	3.1400×10^{-1} kWh	
	重油	2.8459×10^{-2} リットル	
	蒸気	3.92×10^{-1} kg	イオン交換水
	冷却水	3.93×10 リットル	工業用水
	プロセス水	2.23 リットル	イオン交換水

イオン交換樹脂の大部分は、微細な三次元網目構造を持った高分子基体にイオン交換基を導入したものである。高分子基体としては、スチレンとジビニルベンゼンの共重合体が多く用いられている。

ここでは、スチレン/ジビニルベンゼン(4%)共重合体のイオン交換樹脂とするが、ジビニルベンゼンの原単位はスチレンと同じと仮定し、スチレンに含めた。また、ポ

リビニルアルコールおよびベンゾイルパーオキサイドは量が少ないので無視し、次のように設定した。

イオン交換樹脂 1kgあたり

原料	スチレン	1.1111 kg
用役	電力	3.14×10^{-1} kWh
	蒸気	3.92×10^{-1} kg (重油： 2.8459×10^{-2} %)
	冷却水	3.93×10 %
	プロセス水	2.23 %

[W-10] イオン交換樹脂の輸送

イオン交換樹脂 1kg 当たり			
トラック10t車	モード	1.8	イオン交換樹脂製造工場 印刷工場
	距離	400km	

イオン交換樹脂の製造工場（福島）から印刷工場（横浜）まで、10tトラックで輸送するとした。

[W-11] イオン交換水の製造

イオン交換水1kg あたり			
原料	イオン交換樹脂	2.0×10^{-5} kg	
用役	水道水	1 kg	

イオン交換水は、イオン交換樹脂を充填した塔の中に水道水を通過させることにより製造される。大型装置の場合にはポンプ等を必要とする場合もあるが、通常、特に動力は必要としない。

イオン交換樹脂の寿命は、樹脂の種類や水道水の水質、処理水の純度等により大きく異なるが、原水が水道水の場合、およそ $1.0 \times 10^4 \sim 1.0 \times 10^5$ L/kg・1t交換樹脂 程度で交換されることが多いようである。

イオン交換樹脂の寿命を延ばすために、水道水をRO膜で処理した後にイオン交換樹脂を通す2段処理法が採用される場合もある。使用後のイオン交換樹脂は再生処理後再利用されることが多い。

今回は、水道水を直接イオン交換樹脂で処理する工程を想定し、再生処理の工程は考慮しないこととする。イオン交換樹脂1kgで 5.0×10^4 Lの水道水を処理できるとした場合、イオン交換水1kg製造あたりイオン交換樹脂が 2.0×10^{-5} kg必要である。

イオン交換水 1kgあたり

原料 イオン交換樹脂 2.0×10^{-5} kg
 用 役 プロセス水（水道水） 1 kg

3-3. イオン交換水の CO₂ 排出量の集計

前項のユニットプロセスをもとに、イオン交換水1kgあたりのCO₂排出量を集計した。なお、表中の「係数」は、最終製品のイオン交換水を1kg製造するために必要な各ユニットプロセスの原料量を表している。

イオン交換水 1kg あたり

CO₂排出量 = 2.063×10^{-4} kg・CO₂

イオン交換水のユニットプロセスとCO₂排出量の集計

イオン交換水			集計表			
プロセス NO.	原料		係数	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)		
				集計表		
				製造・輸送計	輸送	製造
[I-01]	採油 (原油 1kgあたり)	原油	1.00E+00 kg	1.45E-05	1.12E-07	1.12E-07
[I-02]	原油の陸上輸送 (原油 1kgあたり)	原油	1.00E+00 kg	1.45E-05	1.42E-08	1.42E-08
[I-03]	原油の海上輸送 (原油 1kgあたり)	原油	1.00E+00 kg	1.45E-05	8.87E-07	8.87E-07
[I-04]	原油の蒸留 (ナフサ 1kgあたり)	原油	1.00E+00 kg	1.45E-05	7.14E-07	7.14E-07
[W-05]	ナフサの分解精製 (ベンゼン1kgあたり)	ナフサ	1.25E+00 kg	1.06E-05	6.43E-06	6.43E-06
[W-06]	ナフサの分解精製 (エチレン 1kgあたり)	ナフサ	1.25E+00 kg	3.86E-06	2.33E-06	2.33E-06
[W-07]	スチレンの合成 (スチレン1kgあたり)	ベンゼン エチレン	7.67E-01 kg 2.78E-01 kg	8.52E-06 3.09E-06	5.52E-06	5.52E-06
[W-08]	スチレンの輸送 (スチレン1kgあたり)	スチレン	1.00E+00 kg	1.11E-05	5.88E-07	5.88E-07
[W-09]	イオン交換樹脂の重合 (イオン交換樹脂 1kgあたり)	スチレン	1.11E+00 kg	1.11E-05	2.12E-06	2.12E-06
[W-10]	イオン交換樹脂の輸送 (イオン交換樹脂 1kgあたり)	イオン交換樹脂	1.00E+00 kg	1.00E-05	5.29E-07	5.29E-07
[W-11]	イオン交換水の製造 (イオン交換水 1kgあたり)	イオン交換樹脂	1.00E-05 kg	1.00E-05	1.87E-04	1.87E-04
集計				2.063E-04	2.018E-06	2.042E-04
イオン交換水			1.0E+00 kg			

以上