

平成 23 年度

修士論文

中国の石油化学産業のエネルギー消費効率に関する研究
-中国石油化工集团公司、中国石油天然気集团公司を対象として-

A Study on the Efficiency of Energy Consumption in
Petrochemistry Industry of China
-A Study Targeted Sinopec and CNPC-

平成 23 年 9 月

指導教員 影山 和郎 教授
辻 信之 客員准教授

東京大学大学院工学系研究科技術経営戦略学専攻

37-096854

元 帥

目次

第1章 序論	7
1.1 本研究の背景.....	8
1.1.1 世界のCO ₂ 排出量に関する削減提唱とCO ₂ の排出現状.....	8
1.1.2 エネルギー消費の定量的評価	12
1.1.3 エネルギー消費原単位.....	12
1.2 中国の石油化学産業の成長	13
1.3 本研究の目的.....	19
1.4 本論文の構成.....	21
第2章 日中石油化学産業の現状	22
2.1 中国の石油化学産業について.....	23
2.1.1 中国の石油化学産業の世界における位置	23
2.1.2 中国の2大石油グループの紹介	26
2.1.3 中国の石油化学産業でのエネルギー削減への取り組み.....	27
2.1.4 中国の石油化学産業のエネルギー消費原単位の推移	28
2.2 日本の石油化学産業について.....	30
2.2.1 日本の石油化学産業の現状.....	30
2.2.2 日本の石油化学産業でのエネルギー削減への取り組み.....	30
2.2.3 日本の石油化学産業のエネルギー消費原単位の推移	30
第3章 中国石油化学産業におけるエネルギー消費原単位の試算	32
3.1 エネルギー消費原単位の算出に関する使用データ	33
3.1.1 使用データの概要	33
3.1.2 データの収集・整理・選別.....	33
3.2 研究対象と範囲	39
3.2.1 研究対象	39
3.2.2 研究範囲	39
3.3 エネルギー消費原単位の算出手法・手順.....	40
3.3.1 石油化学製品のエネルギー消費原単位の試算に用いる基本手法.....	40
3.3.2 石油化学製品のエネルギー消費原単位の試算モデル（その1）	40

3.3.3	石油化学製品のエネルギー消費原単位の試算モデル（その2）	41
3.3.4	石油化学製品のエネルギー消費原単位の試算モデル（その3）	46
3.3.5	生産額あたりエネルギー消費原単位の試算モデル	55
3.3.6	生産額あたりエネルギー消費原単位の試算手順	56
3.4	中国の石油化学産業のエネルギー消費原単位の算出結果と考察	60
第4章	結論と今後の展望	65
4.1	結論	66
4.2	今後の展望	66
	謝辞	67

図表目次

図 1-1	先進国の CO ₂ 排出量の推移	8
図 1-2	アジアの CO ₂ 排出量の推移	9
図 1-3	「Kaya identity」の各指標の推移.....	11
図 1-4	主要国の名目 GDP の推移	13
図 1-5	先進国及び新興国（中国、インドを代表とする）の世界 GDP 構成比.....	13
図 1-6	業種別エネルギー消費原単位.....	14
図 1-7	中国の石油化学関連産業のエネルギー消費量推移.....	17
図 2-1	エチレン、合成繊維、合成樹脂の生産能力推移	24
図 2-2	中国のエネルギー消費量推移（全国、業種別）	25
図 2-3	中国の製造業業種別のエネルギー消費原単位の推移（生産額ベース）	28
図 2-4	中国の製造業業種別のエネルギー消費原単位の推移（物量ベース）	29
図 2-5	石油業界の地球環境保全自主行動計画の実績.....	30
図 2-6	金銭ベースでの化学・石化産業エネルギー消費原単位の日中比較.....	31
図 3-1	石油精製のフロー	51
図 3-2	中国石油化学産業の生産額当たりエネルギー消費原単位	63
図 3-3	日中石油化学産業の生産額当たりエネルギー消費原単位	64

表 1-1	世界石油原油の生産量ランキング（トップ 10）	15
表 1-2	世界の石油精製能力ランキング（トップ 10）	16
表 1-3	2009 年世界最大の石油会社（トップ 10）	16
表 1-4	2009 年中国 2 大石油グループの生産量が中国石油化学産業に占める割合	18
表 2-1	エチレンの生産能力の世界順位	23
表 2-2	合成繊維の生産能力の世界順位	23
表 2-3	合成樹脂の生産能力の世界順位	23
表 3-1	子会社のデータのまとめ	36
表 3-2	子会社のデータのまとめ（続）	37
表 3-3	子会社のデータのまとめ（続）	37
表 3-4	子会社のデータのまとめ（続）	38
表 3-5	子会社のデータのまとめ（続）	38
表 3-6	シナリオ 1：子会社全製品の生産量と「その他製品」の割合	43
表 3-7	シナリオ 1：変数と選別された子会社数	43
表 3-8	シナリオ 2：子会社全製品の生産量と「その他製品」の割合	44
表 3-9	シナリオ 2：変数と選別された子会社数	45
表 3-10	シナリオ 1 からシナリオ 8 までのまとめ	46
表 3-11	シナリオ 9 からシナリオ 16 のまとめ	48
表 3-12	シナリオ 15：子会社に関するデータ	49
表 3-13	シナリオ 15：子会社に関するデータ（続）	49
表 3-14	シナリオ 15：試算の行列	50
表 3-15	シナリオ 15：試算の結果	50
表 3-16	シナリオ 17 からシナリオ 24 までのまとめ	52
表 3-17	シナリオ 18 からシナリオ 24 までの結果	53
表 3-18	シナリオ 18 からシナリオ 24 までの変数と製品項目	54
表 3-19	生産額当たりエネルギー消費原単位の関連データ	58
表 3-20	生産額当たり原単位のまとめ	58
表 3-21	製品項目に関するエネルギー消費原単位のまとめ	60
表 3-22	日本の製品ごとエネルギー消費原単位	60
表 3-23	生産額当たりエネルギー消費原単位のまとめ	61
表 3-24	エネルギー消費原単位の換算用データ	62
表 3-25	中国国内の石油化学産業における生産額当たりエネルギー消費原単位	62

表 3-26	日中の石油化学産業における生産額当たりエネルギー消費原単位.....	63
--------	------------------------------------	----

第1章 序論

1.1 本研究の背景

1.1.1 世界の CO₂ 排出量に関する削減提唱と CO₂ の排出現状

まず、先進国とアジアの新興国を数カ国ずつ取り上げて、世界全体の CO₂ の排出量の推移を見てみよう。

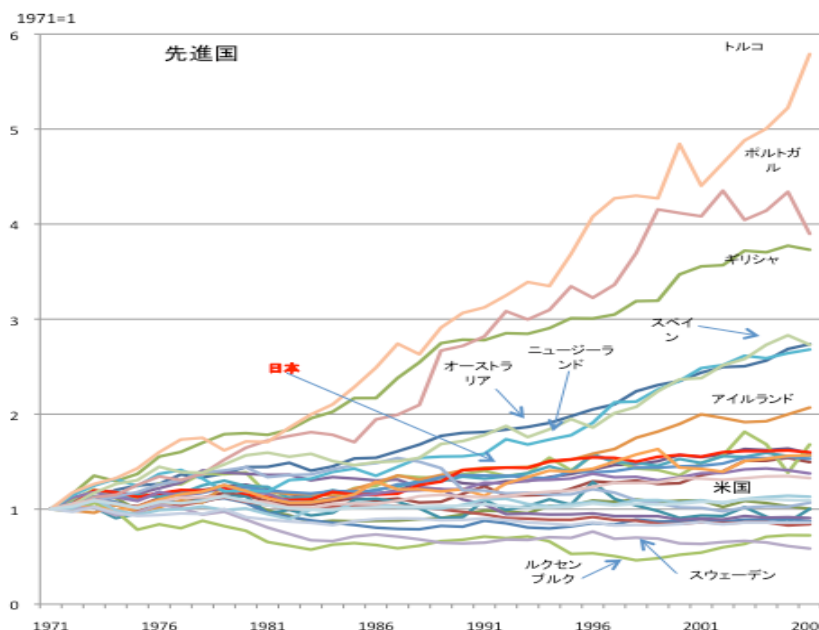


図 1-1 先進国の CO₂ 排出量の推移
(1971=1)

(出所：電力中央研究所ⁱ⁾)

「使用したデータは IEA のエネルギー起源 CO₂ 排出量の国別統計“CO₂ Emissions From Fuel Combustion” で、先進国、途上国を含めてデータが利用可能な 1971 年を基準年とした指数の形ⁱ⁾ で比較している。図 1-1 の中で 1971 年を 1 とした場合、ベルギー、デンマーク、フランス、ドイツ、ハンガリー、アイルランド、ルクセンブルク、スウェーデン、スイスを除く他の先進国は 1 を割り込んだ事はない、或は非常に少ない (1971 年~2006 年に 1 を割り込んだ回数が 10 回より少ない場合を指す)。特にトルコ、ギリシャ、ポルトガルは欧州の中でも経済の発展に出遅れた国であって、排出量は比較的急速に伸びている。

また、経済新興国の中国、インドが所在するアジアの CO₂ 排出量の推移を図 1-2 で表す。

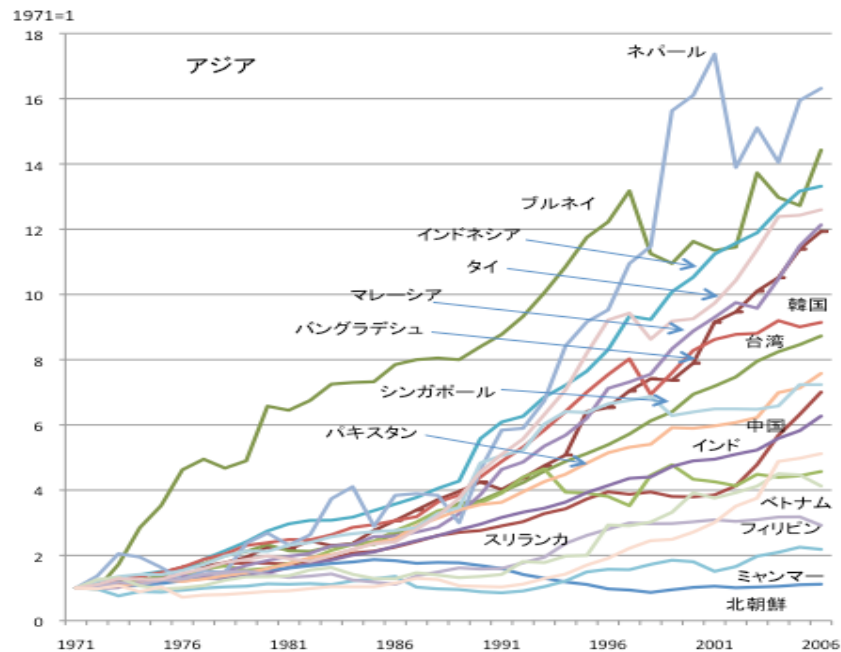


図 1-2 アジアの CO₂ 排出量の推移
(1971=1)

(出所：電力中央研究所 i)

図 1-2 から見ると、北朝鮮を除いてのアジア各国の CO₂ 排出量は右肩上がりの状態になっている。経済成長と共にこれらの国の CO₂ 排出量は伸び続けている。

このように、全体的に見ると世界の CO₂ の排出量は増え続けている。

そんな状況の中、2009年7月8日~10日にイタリアのラクイラにて35回目のG8¹サミットが開かれた。G8の他にブラジル、中国、インド、メキシコ、南アフリカ、エジプト、豪州、韓国などの国も参加し、世界が注目している問題について議論した。世界経済、環境・気候変動、開発・アフリカ及び政治問題を主要議題として、G8の首脳が議論を進めた。議論を通して環境・気候変動について合意文書が作成され、「G8首脳宣言（仮訳）ⁱⁱ」から抜粋し、以下の概要で表す。

- 1) 気候変動と闘うために、2050年までに世界全体の温室効果ガスの排出量の少なくとも50%の削減を目標とし掲げた。その一部として先進国全体で1990年又はより最近の複数の年と比して2050年までに80%またはそれ以上削減すると長期的な目標

を掲げた。同様に、主要新興経済国は、特定の年までに対策をとらないシナリオから全体として大幅に排出量を削減するため、数量化可能な行動を取る必要がある。

- 2) 排出量削減のために温暖化効果ガスの排出量の取引可能な市場のメカニズムや排出量取引制度を研究し、環境に優しいエネルギー革新の技術への健全な投資が出来る環境を作る。
- 3) エネルギー効率を高める技術の開発と研究にも力を入れるべき。また、排出量を効率良く削減するために、エネルギー効率を改善し、エネルギーの多様化を増大させる必要がある。
- 4) エネルギーの貧困が最も顕著なのはアフリカとアジアである。従って、これらの地域での地方電化への支援、低炭素技術開発への支援を行う。また、エネルギー効率の増材、再生可能エネルギーの普及及び天然資源の効率的な利用を目的としたキャパシティ・ビルディング・イニシアティブとエネルギー・ネットワークの持続可能な開発及び展開のためのキャパシティ・ビルディング・イニシアティブを強化する。

以上の合意文書から分かるように、気候変動と闘うために、先進国は CO₂ など温室効果ガスの排出量削減の長期的目標を掲げた。この目標を実現させようとエネルギー効率の増大を促進し、エネルギーの多様化を強調している。同時にこれらについての合意を経済新興国にも求め、これらの新興国での実現を促進している。

つまり、今後の CO₂ など温室効果ガスの排出量を削減する一つの重要なプロセスとしてエネルギーの使用効率を上げることが大切である。

Raupachⁱⁱⁱは 2007 年の時に「Kaya identity」を使い、世界及び地域ごとの CO₂ 排出量について分析した。

「Kaya identity」(1990) とは $F = P \left(\frac{G}{P} \right) \left(\frac{E}{G} \right) \left(\frac{F}{E} \right) = Pgef$ のことを指している。

各アルファベットの定義は以下となる。

F : 全世界の人為的な CO₂ の排出量。

P : 全世界の人口。

G : 世界の GDP であり、 $g=(G/P)$ は世界の一人当たりの GDP。

E : 世界の一次エネルギー消費であり、 $e=(E/G)$ はエネルギー消費の GDP 原単位。 $f=(F/E)$ はエネルギー供給の CO₂ 原単位。

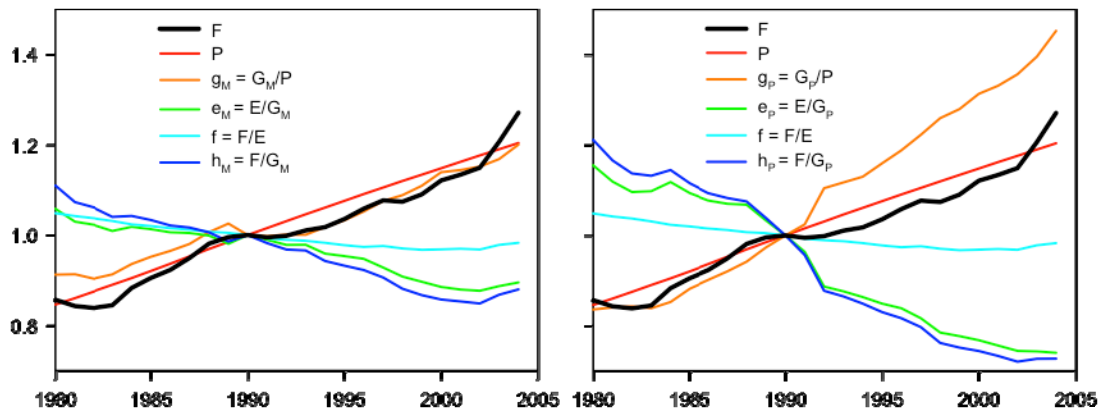


図 1-3 「Kaya identity」の各指標の推移

注：右が PPP フォームで左が MER フォームである。GDP の為替換算に用いる購買力平価が PPP であり、市場為替レートが PPP である。

(出典：「Global and regional drivers of accelerating CO2 emissions」ⁱⁱⁱ⁾)

図 1-3 で分かるように、F は世界の CO₂ 排出量を表しており、1980 年から 2005 年に渡って急速に上昇している。その原因としては、長期に渡って人口及び一人当たりの GDP の増加だけでなく、エネルギー消費の GDP 原単位及びエネルギー供給の CO₂ 原単位の低下の休止、或はこれらの上昇が挙げられるⁱⁱⁱ⁾。また、全世界の CO₂ の累積排出量について、工業革命から 2004 年まで、先進国は全体の約 77% を占めていることに対し、世界人口の約 8 割を占めている中国とインドを代表する経済新興国は全体のわずかに約 23% にすぎない。しかし、経済の成長率が鈍化してきた先進国に比べ、短期間において高い成長率で経済の発展を成し遂げている経済新興国は 2004 年の時点で世界の CO₂ 排出量の伸び率の 73% を占めている。つまり、先進国と比較すると、経済新興国の世界の CO₂ の累積排出量はわずかだが、経済の CO₂ 排出量の伸び率は遥かに高い。

以上のことから、新興国の急成長とエネルギー消費の効率が鈍化したことが原因で世界の CO₂ 排出量が急速に上昇している。

1.1.2 エネルギー消費の定量的評価

すでに 1.1 で述べたように、人類は経済の発展を成し遂げていると同時にその行為に伴う結果として気候の変動や資源の貧困と闘わなければならない。気候変動に影響を与える温室効果ガスの一種として CO₂ が挙げられ、その排出量が人為的な行動による環境へ与える影響を測る一種の指標として多く語られている。なぜなら、全世界の CO₂ 排出量の増加は主に以下の 2 つの人為的行動が原因となる：

- 1) 化石燃料の燃焼と工業過程での排出
- 2) 土地の利用目的の変更（主に新しい土地の開拓）ⁱⁱⁱ

Raupachⁱⁱⁱによると、以上の 2 つの原因の中で、前者の CO₂ 排出量が 2005 年の時点で 7.9Gt/year に達し、以前と比べて伸び率が急激に増加している。それに対し、後者の CO₂ 排出量は 2005 年の時点では 1.5Gt/year であり、以前と比べてもほぼ横ばいの状態である。すなわち、近年最も CO₂ を排出している人類の行為は化石燃料の使用と工業生産活動だということになる。

つまり、CO₂ の排出状況を定量的評価することというのは、化石燃料の使用と工業生産活動に伴うエネルギー消費の効率を定量的評価することと繋がる。従って、本研究ではエネルギー消費の定量的評価に着目する。

1.1.3 エネルギー消費原単位

エネルギー消費原単位とは単位量の活動において使われたエネルギー量のことである。

製造業では、原単位の定義に、1. 「生産額あるいは付加価値額あたりのエネルギー消費量から求める場合（金額ベース）」 2. 「生産物の物理量（鉄 1 トン、ガソリン 1000 リットルなど）から求める場合（物量ベース）」 の 2 つが存在する。

さらに、生産額あるいは付加価値額あたりのエネルギー消費原単位を求める際、「原単位を計量する場合に使用する GDP や産出額などの経済変数の為替計算に、市場為替レート（MER）を用いる場合と、購買力平価（PPP）を用いる場合」ⁱ（金額ベース）の二つがある。従って、需要に応じて、原単位を求める方法を選ぶ必要がある。

経済変数の影響を受ける金額ベースのエネルギー消費原単位は先進国同士の比較に用いる時に、MER と PPP で計算した結果はさほどの差異はないが、新興国での計算には大きな差異が見られる。原因としては、新興国の物価は安い、購買力平価は物価ほど低くないためである。よって、先進国と新興国の比較をする際は物量ベースの比較が望ましい。

1.2 中国の石油化学産業の成長

1.1 で紹介してきたように、世界の CO₂ 排出量が急激に増加した理由として、エネルギー消費の GDP 原単位及びエネルギー供給の CO₂ 原単位の低下の休止、或はこれらの上昇である。その原因は 2000 年に入ってから、中国を代表とする新興国が活発な経済活動を行った結果、速いスピードで急成長し、世界経済の全 GDP に占める割合が大きくなっている一方、エネルギー消費の効率が先進国（日本とドイツを代表とする）より劣っていると考えられる(図 1-4,5)。

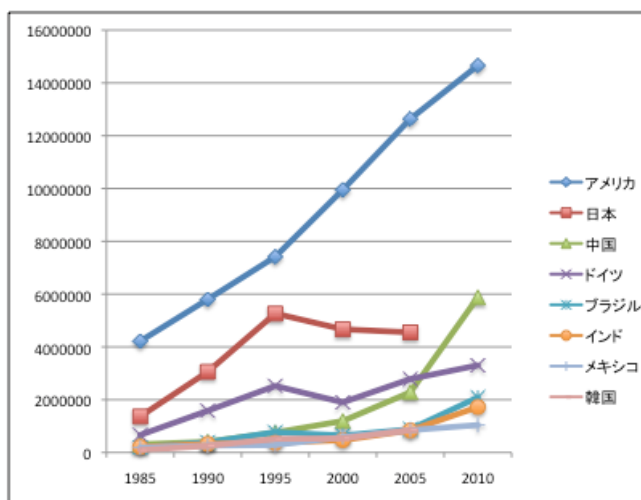


図 1-4 主要国の名目 GDP の推移

(出典：(財団法人) 国際貿易投資研究所 (ITI) iv)

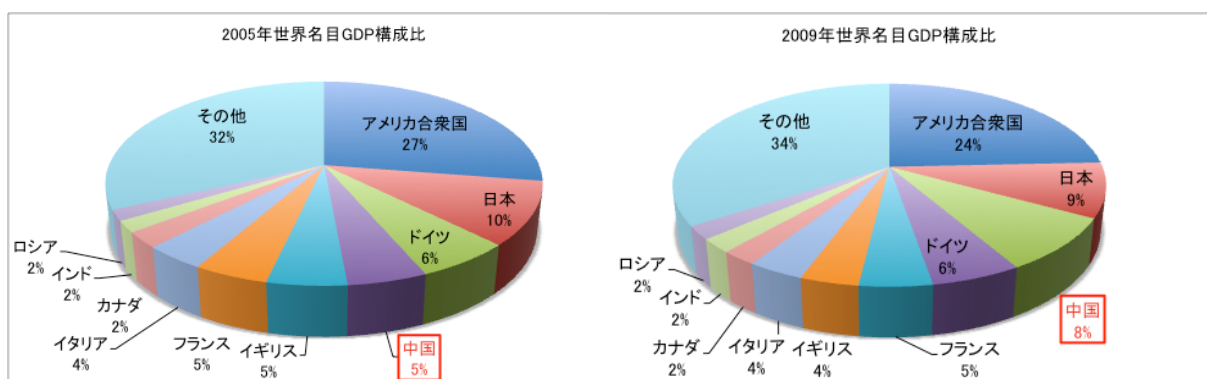


図 1-5 先進国及び新興国（中国、インドを代表とする）の世界 GDP 構成比

(総務省統計局のデータより作成)

図 1-6 は 1990 年から 2006 年まで、中国、インドを代表とする新興国と日本、ドイツを

はじめとする先進国の産業ごとのエネルギー消費原単位を比較し、まとめた図である。

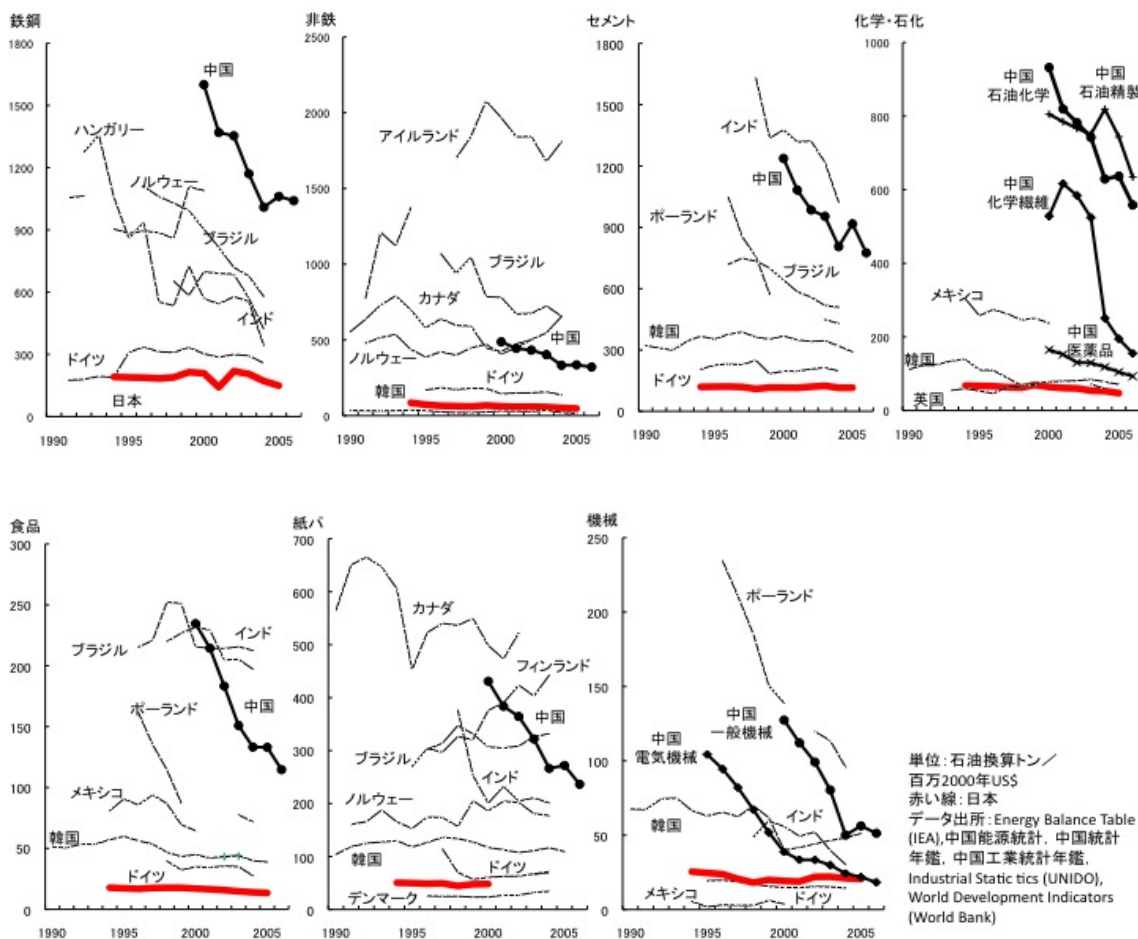


図 1-6 業種別エネルギー消費原単位

(出典：「世界各国のエネルギー起源 CO₂ 排出量の長期トレンドの分析」ⁱ⁾)

新興国のエネルギー消費原単位は近年急速に低下し、先進国とのギャップを縮小しつつある。特に機械産業では、2006年の時点で中国のエネルギー消費原単位は日本より更に低い数値を出しているⁱ⁾。しかし、全体的に見てみれば、やはり先進国との差は大きく、改善のポテンシャルも大きいと思われる。

従って、世界の経済に占める割合が大きくなっている新興国により、高い数値のエネルギー消費原単位が世界の原単位に占める割合も大きくなり、その結果世界全体の値を上昇させたとみられる。

従って、改善ポテンシャルの大きい新興国のエネルギー消費効率を高めることによって、

世界の CO₂ 排出量削減に貢献出来ると考える。そのため、エネルギー消費効率の定量的評価がエネルギー消費効率を測る重要な役割を果たす。同時に、本研究のエネルギー消費効率を定量的評価する対象を新興国の中から選ぶことにする。

数多くの新興国の中で、特に中国の経済成長は大変目覚ましい。中国の GDP は 2005 年の 2,283,667 (100 万ドル) から 2009 年の 5,878,392 (100 万ドル) まで達し^{iv}、増加率は約 61.2%である。また、総務省統計局のデータによると、中国の GDP が世界の GDP に占める割合が 2005 年は約 5%に対し、2009 年の割合は約 8.6%に達した。

中国国内の工業産業の中で、発展真最中の産業はいくつかあるが、本研究では石油化学産業に注目した。理由としては、中国の石油化学産業は石油原油の生産量、石油原油の精製能力において先進国のアメリカや日本に近い実力を持ち、成長している産業である。

表 1-1 世界石油原油の生産量ランキング (トップ 10)

順次	2007年		2008年		2009年	
	国	生産量	国	生産量	国	生産量
						万吨
1	ロシア	48,600	ロシア	48,800	ロシア	49,575
2	サウジアラビア	42,125	サウジアラビア	44,500	サウジアラビア	39,600
3	アメリカ	25,675	アメリカ	24,500	アメリカ	26,685
4	イラン	19,585	イラン	19,500	中国	18,865
5	中国	18,735	中国	19,000	イラン	18,625
6	メキシコ	15,675	メキシコ	14,000	メキシコ	13,025
7	カナダ	13,225	アラブ首長国連	13,080	カナダ	12,650
8	アラブ首長国連	12,330	カナダ	12,850	イラク	12,000
9	ベネズエラ	11,950	イラク	11,825	アラブ首長国連	11,354
10	ノルウェー	11,250	ベネズエラ	11,750	ベネズエラ	10,850

(「中国石油化工集团公司年鑑 2010」^{vi}より作成)

表 1-1 によると、中国の石油原油の生産量は 2007 年の 1.87 億トンから 2008 年の 1.90 億トンに達し、2009 年には 1.89 億トンにまた減少した。しかし、世界での順位の点から見ると、中国は 2007 年以来世界のトップ 5 に入っていて、2009 年にはイランを追い抜き、世界 4 位の座に上った。

表 1-2 世界の石油精製能力ランキング（トップ 10）

順位	2007年		2008年		2009年	
	国	生産量	国	生産量	国	生産量
	1	アメリカ	87,236	アメリカ	86,898	アメリカ
2	中国	31,230	中国	32,230	中国	34,030
3	ロシア	27,142	ロシア	27,142	ロシア	27,142
4	日本	23,254	日本	23,454	日本	23,118
5	韓国	12,883	韓国	13,033	インド	14,178
6	ドイツ	12,085	ドイツ	12,088	韓国	13,508
7	イタリア	11,686	イタリア	11,686	ドイツ	12,053
8	インド	11,278	インド	11,278	イタリア	11,686
9	サウジアラビア	10,400	サウジアラビア	10,400	サウジアラビア	10,400
10	カナダ	9,847	カナダ	10,147	カナダ	10,196

（「中国石油化工集团公司年鑑 2010」^{vi}より作成）

また、石油精製年間能力の世界ランキング（表 1-2）を見てみると、中国は 2007 年以來、3 年連続の 2 位である。能力も 2007 年の年間 3.1 億トンから 2009 年の年間 3.4 億トンまで伸び、一年間あたり平均約 1,000 万トンの増加量で成長してきた。

表 1-3 2009 年世界最大の石油会社（トップ 10）

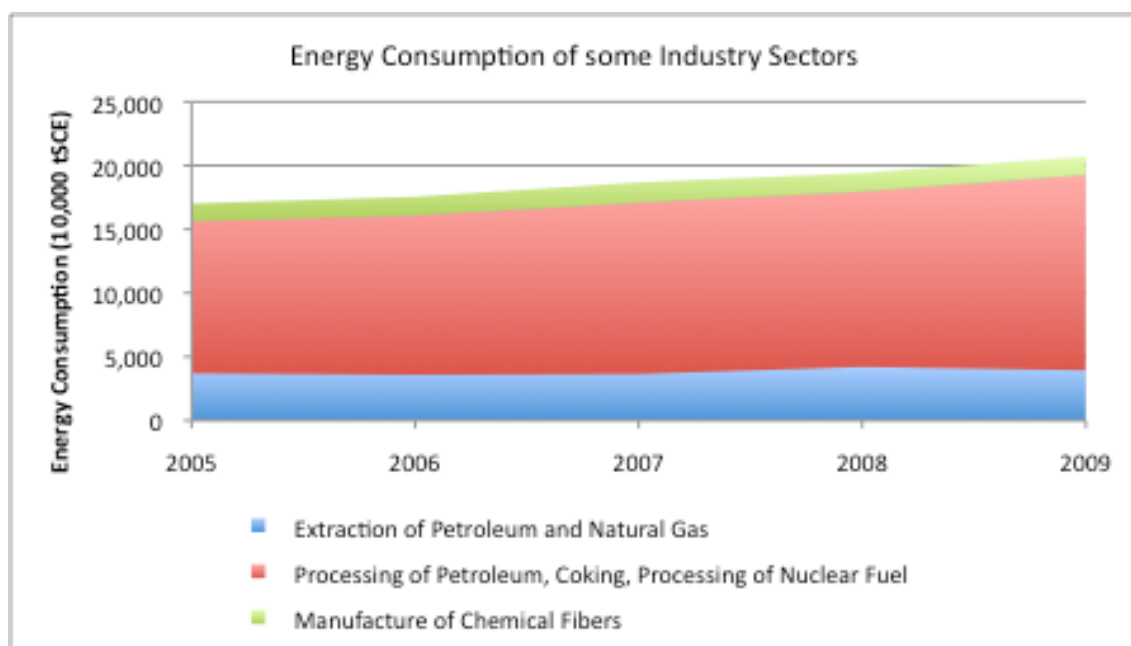
順位	企業名	万トン／年
		能力
1	ExxonMobil Chemical(アメリカ)	28,985
2	Shell(オランダ)	23,151
3	中国石化	19,855
4	BP(イギリス)	16,640
5	ConocoPhillips(アメリカ)	13,891
6	VALERO ENERGY(アメリカ)	13,523
7	PDVSA(ベネズエラ)	13,390
8	中国石油	13,075
9	TOTAL(フランス)	12,973
10	CHEVRON(アメリカ)	12,460

（「中国石油化工集团公司年鑑 2010」^{vi}より作成）

さらに、石油原油の加工能力による 2009 年の世界最大石油会社ランキング（表 1-3）を

見ると、中国のグループ企業が2社もランクインしている。中国石油化工集团公司（表1-3の中では「中国石化」と略している）が世界第3位に入り、中国石油天然気集团公司（表1-3の中では「中国石油」と略している）が第8位に入った。上位10社の中で中国の企業のみがアジア企業に対し、他の企業は欧米系が占めている。従って、石油原油の加工量の規模から見ると、中国はすでに世界上位の実力を持っている。

以上の事から、中国の石油化学産業は発展しつつであり、世界の上級レベルに近付いていることが分かる。しかし、産業の急成長に伴い、エネルギーの消費も増えている。



注：1 tSCE = 29,308 MJ^{vii}

図 1-7 中国の石油化学関連産業のエネルギー消費量推移

(中国統計局のデータ^{viii}より作成)

図 1-7 で分かるように、中国の石油化学関連産業のエネルギー消費量は近年上昇している。特に石油精製、核燃料加工産業は大きな割合を占めていて、且つエネルギー消費量の増加も多いことが分かる。

世界での石油生産能力、加工能力が上級レベルの中国だが、生産活動に伴うエネルギー消費効率も世界上級レベルであるかどうかを明らかにするために、中国のエネルギー消費効率について本研究で検討したい。

続いて、中国の石油化学産業のメイン企業について簡単に紹介する。中国の石油化学産業の中で、「中国石油化工集团公司」と「中国石油天然気集团公司」の2大石油グループが

存在する。

表 1-4 は二つのグループの石油原油生産量、天然気生産量、原油加工量を同じ単位に換算し、これらの量が中国石油化学産業に占める割合をまとめたものである。

表 1-4 2009 年中国 2 大石油グループの生産量が中国石油化学産業に占める割合

	中国石油化工集团公司	全産業に占める割合	中国石油天然気集团公司	全産業に占める割合	中国全産業	2大グループが全産業に占める割合
石油原油生産量(万吨)	4,241.55	22.38%	11,415.62	60.24%	18948.96	82.63%
天然ガス生産量(億立方米)	84.46	10.18%	598.10	72.07%	829.92	82.24%
石油原油加工量(万吨)	18,428.28	49.19%	11,213.97	29.94%	37460.13	79.13%
				原油1トン=7.389バレル	1立方メートル=35.315立方フット	

(「中国石油化工集团公司年鑑 2010」^{vii}「中国石油天然気集团公司年鑑 2010」^{ix}より作成)

表 1-4 から分かるように、両グループの生産量或は加工量を合計すると中国石油化学産業全体の約 8 割に達する。つまり、この二つのグループは中国を代表出来る石油グループであることが分かる。

また、中国政府も成長している中国の石油化学産業に注目していて、「第 11 次 5 カ年計画」の中で特にこの産業のエネルギー消費について提言した。中国の石油化学産業のエネルギー消費効率に世界上級レベルを目指すように提唱した^x。

1.3 本研究の目的

本研究では新興国の中で近年に急成長を成し遂げた中国の石油化学産業に焦点を当て、そのエネルギー消費効率の向上を検証したい。

エネルギー消費原単位は単位量の活動のために使用されるエネルギー量を表し、エネルギー利用効率の尺度として用いられる^{xi}。

今迄、中国の石油化学産業における全体のエネルギー消費原単位に関する研究は存在していたが、石油化学製品ごとのエネルギー消費原単位を求めるものはなかった。従って、本研究はマクロな視点から、石油化学産業全体のエネルギー消費原単位を求めるだけでなく、ミクロな視点から製品ごとのエネルギー消費原単位を求めたい。しかし、中国の石油化学製品ごとのエネルギー消費原単位を求める際、以下の課題が存在する。

- 1) 中国の環境保全に関する意識の高まりは最近の事であって、エネルギー消費原単位に関する調査は企業に関する調査は殆ど行われていない。企業に関するエネルギー消費のデータ調査は存在していたとしても、製品ごとの生産工程におけるエネルギー消費状況は明確にはされていない。
- 2) 中国の企業に関する情報やデータはほとんど非公開なため、研究に必要な情報の入手が困難である。また、研究機関との合同調査を拒否するケースが多い。つまり、外部の機関によるアンケート調査や聞き取り調査を通じての中国の企業の製品に関する LCI² (Life Cycle Inventory) 調査は実現不可能である。また、自社が LCI 調査を行ったとしても、その結果に関するデータは非公開である。

以上の課題から見て、中国の石油化学産業において通常の調査方法による製品ごとのエネルギー消費原単位の調査は不可能とする。

しかし、中国の石油化学産業を代表する最も大きい2つの石油グループの中国石油化工有限公司と中国石油天然気集团公司は、毎年グループの経済活動に関する報告書として「中国石油化工有限公司年鑑 2010」「中国石油天然気集团公司年鑑 2010」という年鑑^{3,vi,ix}を出版している。この年鑑の中には、石油化学製品の生産に関するデータ（製品項目、生産量、生産用エネルギー消費など）が記載されている。

そこで、本研究は以上のような入手可能な公開データから中国の石油化学産業に関する全体のエネルギー消費原単位と個別製品のエネルギー消費原単位を求めることを試みる。

よって、研究目的を以下とする。

- 1) 限りある公開データを用いて、中国の石油化学産業に関するエネルギー消費原単位を求め出す以前になかった新たな手法の提案をする。それと同時に、製品ごとのエネルギー消費原単位（物量ベース）を明らかにする。
- 2) 2009年度の公開データを基に生産額当たりエネルギー消費原単位の算出を行う。
- 3) 求めた結果の考察を通し、中国の石油化学産業におけるエネルギー消費原単位は先進国のエネルギー消費原単位といかなる差異を持つかを判明する。且つ中国自身のエネルギー消費原単位に関する変化も分かる。

以上を踏まえて、中国石油化学産業におけるエネルギー消費効率の向上を検証する。

1.4 本論文の構成

第一章では、本研究の背景、研究の基礎知識、本研究の目的について述べた。

第二章では、日本及び中国の石油化学産業の現状について調査している。この章で、日本の石油化学産業を先進国の代表として選んだ理由や産業の概要、日中の石油化学産業のエネルギー削減における取り組み、それぞれの原単位に関するトレンドを述べる。

第三章で、中国の石油化学産業におけるエネルギー消費原単位の試算に関するプロセスと結果の考察について書かれている。算出のプロセスでは手法、データの扱い、手順を説明し、結果の考察では中国のエネルギー消費原単位及び日本の原単位との比較や自国でのトレンドを明らかにする。

最後に、第四章では本研究の結論と今後の展望について述べる。

第2章 日中石油化学産業の現状

2.1 中国の石油化学産業について

2.1.1 中国の石油化学産業の世界における位置

第1章の第2節で述べたように、中国の石油化学産業は成長している。世界の石油原油生産量の点から見ると中国全国の2009年の生産量は18,865万トンであり、ロシア、サウジアラビア、アメリカに相次ぐ第4位である^{vi}。また、石油精製能力の点から見ても、2009年中国の石油精製加工生産量は34,030万トン/年であり、アメリカの年間88,817万トンと遥かに差はあるが、世界では2位の座にいる^{vi}。

主要な石油化学製品の生産能力について、中国も世界の上位を占めている。

表 2-1 エチレンの生産能力の世界順位

順位	2006年		2007年		2008年		2009年	
	国	生産量	国	生産量	国	生産量	国	生産量
	1	アメリカ	2,877.3	アメリカ	2,879.3	アメリカ	2,849.2	アメリカ
2	日本	726.5	日本	726.5	サウジアラビア	940.0	中国	1,177.8
3	中国	698.8	中国	698.8	中国	734.8	サウジアラビア	1,070.0
4	サウジアラビア	685.5	サウジアラビア	680.0	日本	726.5	日本	726.5
5	ドイツ	555.7	ドイツ	575.7	ドイツ	575.7	ドイツ	575.7

(「中国石油化工集团公司年鑑 2010」^{vi}より作成)

表 2-2 合成繊維の生産能力の世界順位

順位	2006年		2007年		2008年		2009年	
	国	生産量	国	生産量	国	生産量	国	生産量
	1	中国	2,673.9	中国	2,789.0	中国	3,030.7	中国
2	インド	343.4	インド	371.1	インド	374.7	インド	422.1
3	台湾	303.3	アメリカ	278.4	アメリカ	231.2	アメリカ	218.3
4	アメリカ	288.0	台湾	266.9	台湾	227.7	台湾	216.2
5	韓国	161.8	韓国	166.3	韓国	163.9	韓国	167.3

(「中国石油化工集团公司年鑑 2010」^{vi}より作成)

表 2-3 合成樹脂の生産能力の世界順位

順位	2006年		2007年		2008年		2009年	
	国	生産量	国	生産量	国	生産量	国	生産量
	1	アメリカ	239.5	アメリカ	269.7	アメリカ	316.5	中国
2	中国	184.5	中国	221.5	中国	199.3	アメリカ	196.2
3	日本	159.2	日本	165.5	日本	167.8	日本	126.4
4	ロシア	83.7	ロシア	120.9	ロシア	144.3	韓国	114.9
5	ドイツ	84.9	韓国	108.0	韓国	121.0	ロシア	104.2

(「中国石油化工集团公司年鑑 2010」^{vi}より作成)

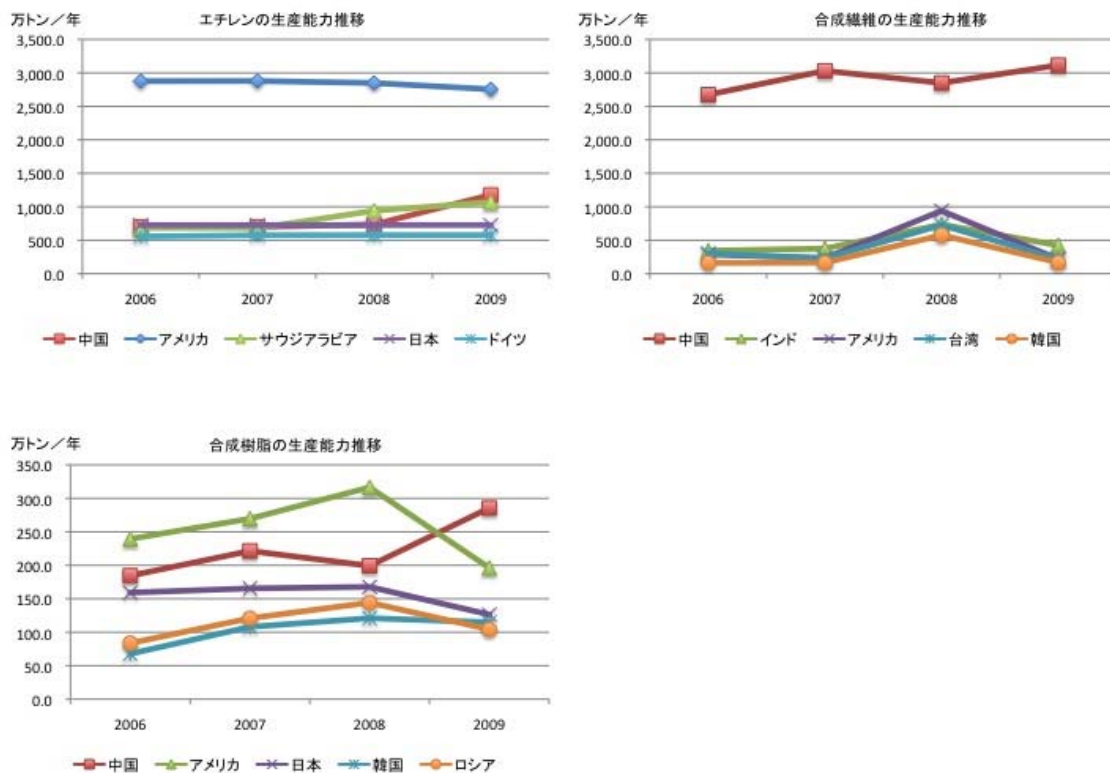


図 2-1 エチレン、合成繊維、合成樹脂の生産能力推移

(「中国石油化工集团公司年鑑 2010」 vi より作成)

表 2-1,2,3 はエチレン、合成繊維、合成樹脂の生産能力に関する世界上位 5 カ国の順位データである。また、図 2-1 は表 2-1,2,3 のデータに基づき、各国の生産量推移をグラフで表した物である。ただし、図 2-1 の「合成樹脂の生産能力推移」に関しては、推移を表すため、引用データ⁸⁾に基づいて 2006 年のドイツを取り除き、韓国のデータを付け加えてある。

世界順位から見ると、中国の合成繊維の生産能力は世界 1 位である。次に中国のエチレンの生産能力に関しては、2006 年から 2008 年までは世界 3 位だったが、2009 年には 2 位に上がった。続いて合成樹脂の生産能力に関しては、2006 年から 2008 年までは世界 2 位だった中国が、2009 年には世界 1 位となった。

生産能力の推移から見ると、3 つの製品における中国の生産能力は右肩上がりになっている。エチレンの生産能力に関しては、2006 年から 2009 年まで毎年伸びているが、1 位のアメリカと比べると、大きな差があることが分かる。世界において、合成繊維の生産能力は圧倒的に中国が多いであって、合成樹脂の場合は、各国の間で特に大きな差のない中、中国は生産量を増やしている。

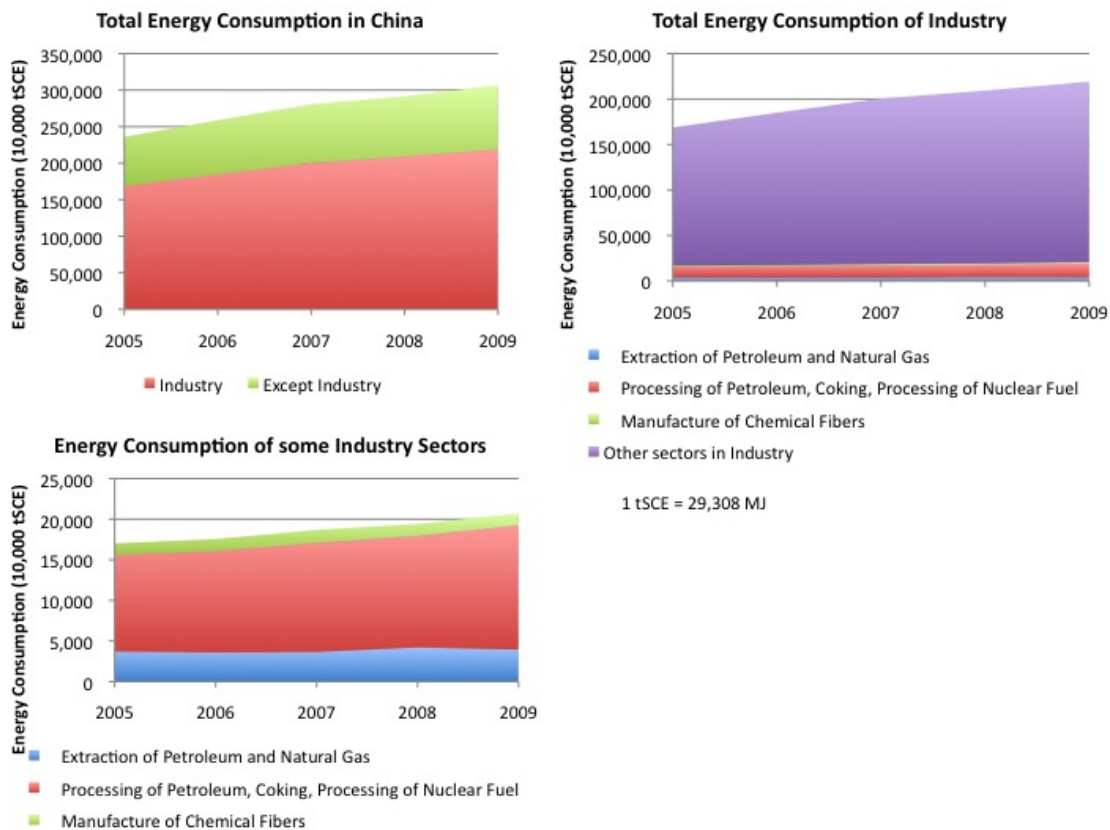


図 2-2 中国のエネルギー消費量推移（全国、業種別）

（中国統計局のデータ^{xii}より作成）

図 2-2 は中国のエネルギー消費量に関するデータから抜粋し、作成したグラフである。2005 年から 2009 年まで、中国全体のエネルギー消費は 235,996.65（10,000tSCE）から 306,647.15（10,000tSCE）まで増加した。さらに、中国全体のエネルギー消費の約 73%を占めているのが工業活動によるエネルギー消費であり、この消費も 2005 年の 168,723.53（10,000tSCE）から 2009 年の 219,197.16（10,000tSCE）と毎年増加しつつある。また、石油原油及び天然ガスの探鉱・開発業、石油原油の加工・コークス化及び核燃料の加工業、化学繊維の製造業が消費するエネルギーは全工業エネルギー消費の約 1 割を占めていて、2005 年から 2009 年までの使用量は伸びている。さらに、この 3つの産業の中で最もエネルギー消費量が多いのが石油原油の加工・コークス化及び核燃料の加工業であり、毎年プラスの変化率で増加している。

以上のデータから、中国石油化学産業の規模及び生産能力、エネルギー消費の推移が把握できる。これからの中国の石油化学産業は徐々に成長し、世界でますます重要なポジションを取ることが予想出来ると考えられる。

2.1.2 中国の2大石油グループの紹介

前章で紹介したように、中国には2大石油グループが存在する。ここで更に詳しくこの2大グループについて紹介する。

中国石油化工集团公司 (Sinopec Group, 「中国石化」とも略す) は1998年に国が元中国石油化工総公司⁴の上で新たに設立した国営のグローバルな特大型石油石化企業グループである。資本金は1,820億元(約21,831.97億円⁵)であり、香港、ニューヨーク、ロンドン、上海にて上場。本社は北京に設置されている^{xiii}。

主な事業内容：産業への投資と管理、石油及び天然ガスの探鉱・開発・輸送(パイプライン輸送)・販売・総合利用、石油精製、ガソリン・ディーゼル燃料・灯油の販売、石油化学及びその他の化学製品の生産・販売・ストア・輸送、石油石化プロジェクトの探鉱設計・施工・設置、石油石化設備の点検及び修理、機械設備の製造、技術・情報・代替エネルギーの研究・開発・応用・コンサルティングサービス、各製品及び技術の輸入・輸出の自社運営或は代理運営^{xiii}。

子会社は業務ごとに6つのセクションに分かれている。

油田企業14社、石油化学生産企業22社、石油製品販売企業26社、研究開発機関8つ、設計・工事実施機関9つ、その他企業9つ、合計88個の子会社がグループに属している。

中国石油天然気集团公司 (China National Petroleum Corporation, CNPC, 「中国石油」とも略す) の設立も1998年の国営のグローバルグループであり、前身は1955年に創立した「石油工業部」である^{xiv}。資本金は1,830.21億元^{xv}(約21,954.45億円⁴)であり、上海、香港、ニューヨークにて上場。本社は北京である。

主な事業内容：石油と天然ガスの探鉱・生産・販売・パイプライン輸送、石油開発プロジェクトに関わる一連の技術サポートとサービスの提供、天然ガス・油田のプロジェクト、パイプライン建設、精製設備の建設、石油生産に関わる設備の製造、資金管理・金融保険などの金融サービス、特殊資源・バイオマスなど再生可能な新エネルギーに関する開発^{xiv}。

子会社はセクションごとにさけていないが、油田企業、天然気企業、石油化学製品の製造企業、プロジェクトを実施する企業など計138個の子会社と関連企業がグループに属している。

「フォーチュン」の「Global 500」で中国石化は7位に、中国石油は10位に選ばれた^{xvi}。

前章で述べたように、2つのグループの石油原油生産量、天然ガス生産量、石油原油加工量をそれぞれ足し合わせた量はそれぞれの中国石油化学産業全体生産量の約8割を占める。その他の石油化学製品の生産量も中国の大半を占めている。

このように、中国石化と中国石油は中国の石油化学産業を代表する2大グループ企業であり、世界でも屈指の石油グループである。だが、2009年はこの2大石油グループに大きな変化をもたらした。

中国石化の年鑑^{vi}によると、世界の金融危機の影響を受けて、市場の需要が大幅に縮小し、石油価格も大幅の値下げとなった。特に中国石化はここ10年以来、油田事業初の月単位の損失が出た。しかし、当グループは市場の変化をとらえ、ポートフォリオの改善、グローバル化の促進と技術開発に対する努力を通し、全年度の石油原油生産量は5,520.55万トン（対前年伸長率：8.64%）であり、その内国内の原油生産量は4,241.55万トン（対前年伸長率：1.47%）である。また、天然ガスは84.68億立方メートル（対前年伸長率：2.02%）を生産し、石油原油の加工量については1.84億トン（対前年伸長率：6.56%）である。それ以外に、油製品の販売、輸出もプラスの対前年伸長率になり、215.4%の利益増加となった。

中国石油の年鑑^{ix}によると、中国石油も金融危機を乗り越え、グローバル化を拡大し、戦略に沿った重大なプロジェクトを次々とスタートし、技術の面でも新しい成果を挙げた。その結果、全年度国内外の原油とガスにおける総生産量は2.34億トン（対前年伸長率：3.9%）に達し、それぞれが全国に占める割合は約60%と約80%である。営業利益は前年に対し、1,436,137万元（約1,722.73億円）のプラスとなったが、純利益は8,736,695万元（約10,480.18億円）であり、前年度より368,353万元（約441.86億円）のマイナスとなった⁶。

以上のように、近年でも中国石化と中国石油は規模を拡大しつつである。

2.1.3 中国の石油化学産業でのエネルギー削減への取り組み

中国政府は2006年から2010年までの5年間についての計画を「第11次5カ年計画」と名付け、全国範囲でさまざまな分野において掲げる目標を共有している。大きく「思想」「政治」「経済」「対外」「社会」「地域」「環境」「プロジェクト」の8つの分野に分かれている^{xvii}。近年高まる中国の環境と省エネルギーの意識も、この「第11次5カ年計画」に現れている。

中国は今後の5年以内にエネルギーを節約し、再生可能エネルギーの利用を促進する。また、特別に石油化学産業について、生産システムのエネルギー消費効率を上げ、先進国レ

ベルを目指すようにと提唱した^x。

また、石油化学産業の設備や技術の改善にも努めていて、生産効率やエネルギー消費効率を向上させる技術開発を行っている。例えば、中国石油化工集団公司は2009年にエチレン、合成樹脂などの製品に関する技術改善を一冊の本にまとめて出版した。中には、生産効率やエネルギー消費効率の改善に関する技術や実例の記載がある^{xviii}。

これ以外に、年鑑^{vi,ix}の各章に環境保全やエネルギー節約に関する取組みが書かれていた。また、製造を行う子会社各社を紹介する文章でも、各社が取組み且つ成果をあげた環境に優しい事例が挙げられている。

すなわち、中国の石油化学産業が環境に対する注目度はますます高くなり、エネルギー消費効率の重要性に関する認識も高まっている。

2.1.4 中国の石油化学産業のエネルギー消費原単位の推移

中国の石油化学産業のエネルギー消費原単位の推移を生産額ベースと物量ベースで見て行く。

生産額ベースのエネルギー消費原単位は生産額当たりのエネルギー消費量である。図2-3は中国の製造業エネルギー多消費産業のエネルギー消費原単位の推移であり、「生産額の実質金額は、名目の生産金額を、それぞれ関連する品目の生産者価格指数（2000=100）で除して求めた」ものであるⁱ。

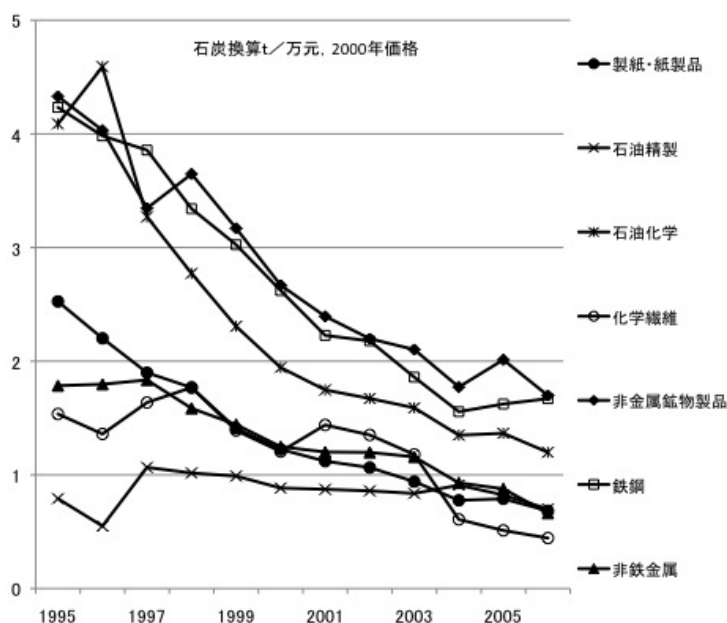


図 2-3 中国の製造業業種別のエネルギー消費原単位の推移（生産額ベース）

—エネルギー多消費産業—

（出所：「世界各国のエネルギー起源 CO₂ 排出量の長期トレンドの分析」ⁱ）

図 2-3 で表したように、石油化学、石油精製などの産業のエネルギー消費原単位は低下しつつある。

続いて、物量ベースのエネルギー消費原単位を見てみよう。

物量ベースのエネルギー消費原単位というのは、生産物の物量単位（1 トンのガソリン）に消費されるエネルギー量のことである。

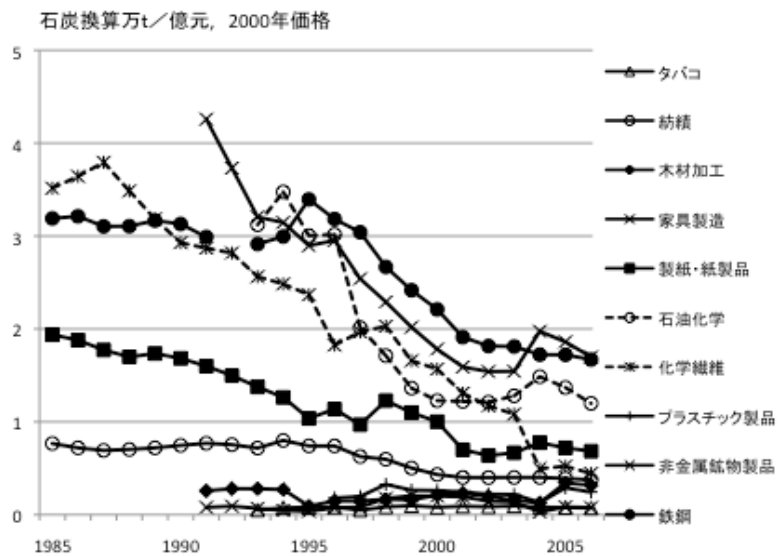


図 2-4 中国の製造業業種別のエネルギー消費原単位の推移（物量ベース）

（出所：「世界各国のエネルギー起源 CO₂ 排出量の長期トレンドの分析」ⁱ⁾）

物量ベースから見ても、石油化学産業において、エネルギー消費原単位は減少している。

2.2 日本の石油化学産業について

2.2.1 日本の石油化学産業の現状

先進国の代表として、日本の石油化学産業を簡単に紹介する。

日本の石油化学産業では石油業法体制の見直しの動きや石油企業の合理化、効率化が求められてきた環境の中で、企業は合併と提携を繰り返してきた^{xix}。例えば、三菱化成と三菱油化の合併により「三菱化学」が発足した。最近では、新日本石油・新日本石油精製・ジャパンエナジーの3社が合併し、「JX日鉱日石エネルギー」を設立した^{xx}。

日本はエネルギー資源が乏しい国であるため、99%の石油は輸入である。さらにその中の89.5%は中東に依存している。しかし、コスト面や国内産業の振興などのメリットを考え、日本は石油製品を輸入しているのではなく、石油原油を輸入し、原油に関する消費地精製の方式を行っている^{xix}。また、表 1-2, 2-1, 2-3 を見ると分かるように、日本は産油国ではないが、石油の精製能力は世界上級レベルである。

2.2.2 日本の石油化学産業でのエネルギー削減への取り組み

このような世界トップレベルの日本石油化学産業もエネルギー消費の削減に力を入れている。

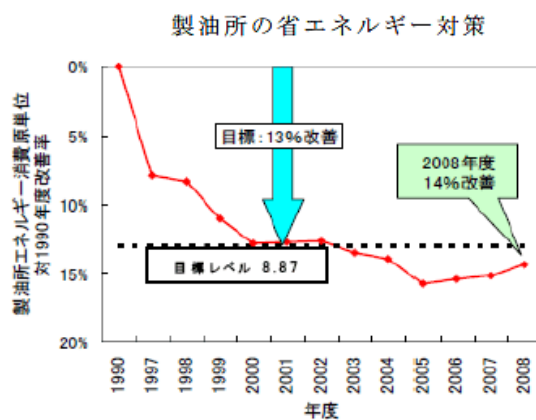


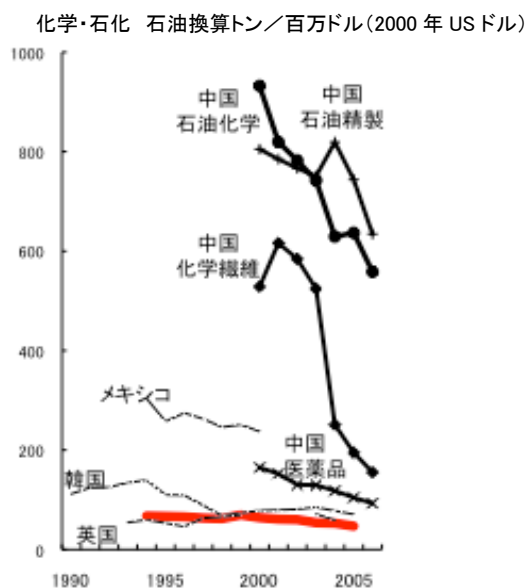
図 2-5 石油業界の地球環境保全自主行動計画の実績

(出所:「石油便覧」^{xix})

「2008年度の製油所エネルギー消費原単位は8.73(原油換算KL/換算通油量千KL)と、1990年度より約14%の改善となり、目標の13%の改善を達成した。^{xix}」

2.2.3 日本の石油化学産業のエネルギー消費原単位の推移

続いて、日本の石油化学産業のエネルギー消費原単位の推移を以下にて表す。



注：赤の線が日本

図 2-6 金銭ベースでの化学・石化産業エネルギー消費原単位の日中比較

(出所：「世界各国のエネルギー起源 CO₂ 排出量の長期トレンドの分析」ⁱ⁾)

図 2-6 が示しているように、日本は化学・石化産業において、非常に低い原単位レベルを維持している。1994 年の 67.48 石油換算トン／百万ドル (2000 年 US ドル) から更に低下し、2005 年には 47.05 石油換算トン／百万ドル (2000 年 US ドル) に達した。ちなみに 2005 年、中国の石油化学のエネルギー消費原単位は 636.78 石油換算トン／百万ドル (2000 年 US ドル) であり、2000 年から急速な低下が始まったが、やはり日本との格差が大きい。

日本のエネルギー消費原単位は依然として世界の低水準ⁱ⁾であるため、中国のエネルギー消費原単位が目指す世界先進国レベルの代表として日本が取り上げられるのは妥当である。

第3章 中国石油化学産業におけるエネルギー消費原単位の試算

3.1 エネルギー消費原単位の算出に関する使用データ

3.1.1 使用データの概要

データの出典は「中国石油化工集团公司年鑑 2010^{vi}」と「中国石油天然気集团公司年鑑 2010^{ix}」である。

「中国石油化工集团公司年鑑 2010^{vi}」の中では事業をセクターごとに分け、子会社を整理している。本研究では、「錬化企業」（石油の精製、化学品の製造を行う企業）のセクターから子会社を選んだ。合計 22 社である。当セクターで子会社についての記載の仕方はそれぞれであるが、主に企業概要、2009 年度の、主な製品の生産状況、主なプロジェクトの実行状況、マネジメントの概要、省エネルギー・環境保全への取り組み、技術開発、表彰、主な財務状況、主要製品の生産項目と生産量、石油原油の加工量、石油原油の加工におけるエネルギー消費原単位などが挙げられる。ただし、最後の三者については記載されていない子会社も存在する。

「中国石油天然気集团公司年鑑 2010^{ix}」の中でも子会社の情報をまとめて整理している。しかし、「中国石油化工集团公司年鑑 2010^{vi}」とは違い、子会社の中のセクターによる分類はされていない。従って、子会社の紹介と名前を基に、本研究の対象となる「石化公司」（石油の精製、化学品の製造を行う企業）を分別し、選択する。合計 37 社である。当年鑑では、「石化公司」の子会社について主に子会社についての概要、2009 年度の主な製品の項目と生産量などの情報、主なプロジェクトの紹介、会社のマネジメントの概要、安全・環境保全への取り組み、技術開発、福利厚生への取組み、会社が受けた表彰、売上げ・販売収入などの財務状況、石油原油の加工量、石油原油の加工におけるエネルギー消費原単位などが挙げられる。ただし、子会社の記載方法がさまざまなため、一つの会社につき、すべての項目について書かれている訳ではない。

また、両年鑑の子会社の生産量に関するデータについては、「中国石油化工集团公司年鑑 2010^{vi}」は表を用いて製品の項目と生産量をまとめて記載している。これに対し、「中国石油天然気集团公司年鑑 2010^{ix}」は表で製品の項目と生産量をまとめて記載しているところもあれば、文字だけの形式で記述しているところもある。よって、後のデータ収集の際にデータの形式を統一する必要がある。

本研究はエネルギー消費原単位の算出を試みる研究なので、石油精製・化学製品の製造を行っている子会社（両グループあわせて 59 社）のエネルギー消費に関する項目—石油原油の加工量、石油原油の加工におけるエネルギー消費原単位、主な製品の項目と生産量を収集、整理することに決めた。

3.1.2 データの収集・整理・選別

まず、2 大グループそれぞれの子会社の「会社名」をリストアップし、以下の項目で整理

し、表でまとめた。

「会社名」

「省」

「市」

「設立年」

「石油原油の加工におけるエネルギー消費原単位」(単位：kgEO/t)

「生産額当たりエネルギー消費量」(単位：tSCE/万元)

「石油原油の年間加工量」

「年度生産額」

「製品項目」

「生産量」

次に、年鑑から各子会社における「石油原油の加工におけるエネルギー消費原単位」「石油原油の年間加工量」、生産している製品項目及び生産量についてデータを整理し、表を作成した。

年鑑に記載されている年度の子会社エネルギー消費原単位が 2 種類存在する一「石油原油の加工におけるエネルギー消費原単位」と「生産額当たりエネルギー消費量」である。これから製品ごとのエネルギー消費原単位を求めるので、「石油原油の加工におけるエネルギー消費原単位」と記載し、「石油原油の加工量」「製品の生産量」を正確に記載している子会社のみを厳選した結果以下の 16 社となる。

16 社の名前(中国語)は以下となる。

1. 大庆石化分公司(中国石油大庆石油化工总厂)
2. 大连石化分公司(中国石油大连石油化工有限公司)
3. 哈尔滨石化分公司
4. 呼和浩特石化分公司
5. 辽河石化分公司
6. 燕山化工
7. 齐鲁化工
8. 茂名石化
9. 福建炼化
10. 荆门石化
11. 九江石化
12. 沧州炼化

13. 青島石化
14. 北海分公司
15. 塔河分公司
16. 海南炼化

また、生産額あたり原単位を求める際、必要なのは子会社のエネルギーの消費量と生産額なため、これらを正確に記載した子会社を厳選した結果、以下の 22 社となった。

1. 燕山化工
2. 齊魯化工
3. 金陵石化
4. 茂名石化
5. 鎮海石化
6. 儀征化纤
7. 南京化工
8. 福建炼化
9. 广州石化
10. 洛阳石化
11. 荊門石化
12. 四川維尼纶厂
13. 九江石化
14. 湖北化肥
15. 武汉石化
16. 滄州炼化
17. 潤滑油分公司
18. 保定石化厂
19. 青島石化
20. 北海分公司
21. 塔河分公司
22. 海南炼化

また、計算と考察の利便性を考慮し、中国の換算基準 $1,000\text{kgEO}=41,868\text{MJ}^{\text{vii}}$ と $1\text{TJ}=1,000,000\text{MJ}$ の基準を基に、各社の「石油原油の加工エネルギー消費原単位」を本来の単位「 kgEO/t 」から「 TJ/t 」に換算した。ただし、「 $\text{tSCE}/10,000\text{RMB}$ 」の単位を使って「石油原油の加工エネルギー消費原単位」子会社も存在していたため、 $1\text{tSCE}=29,308\text{MJ}^{\text{vii}}$ でジュールに換算し、更に「 $\text{TJ}/10,000\text{RMB}$ 」の単位に換算した。よって、子会社の石油原

油の加工に使った年間総エネルギー量の計算をするときに十分単位に注意を払うべし。

次に、子会社の石油原油の加工に使った年間総エネルギー量を得るために「石油原油の加工エネルギー消費原単位」と「石油原油の年間加工量」或は「年度生産額」を掛け合わせて求めた。

その後、各社の製品を生産量の降順で並び替えた。

16社のデータをまとめた表の抜粋が以下となる。(ページに収まりきれなかったため、子会社に番号を振り、表を分割して表している)

表 3-1 子会社のデータのまとめ

	会社名	省	市	建立年
1	大庆石化分公司（中国石油大庆石油化工总厂）	黑龙江	大庆	1962
		省	市	建立年
2	大连石化分公司（中国石油大连石油化工公司）	辽宁	大连	1933
		省	市	建立年
3	哈尔滨石化分公司	黑龙江	哈尔滨	1970
		省	市	建立年
4	呼和浩特石化分公司	内蒙古	呼和浩特	1988
		省	市	建立年
5	辽河石化分公司	辽宁	盘锦	1970

(「中国石油化工集团公司年鑑 2010」^{vi}「中国石油天然气集团公司年鑑 2010」^{ix}より作成)

表 3-2 子会社のデータのまとめ (続)

	原油の年間加工量 (万トン)	年間石油原油における エネルギー消費原単位 (kgEO/t)	換算 (TJ/t) 1TJ=1000000MJ	総合エネルギー 消費量(TJ)
1	616.02	69.39	0.002905221	17,896.74
	原油の年間加工量 (万トン)	年間石油原油における エネルギー消費原単位 (kgEO/t)	換算 (TJ/t)	総合エネルギー 消費量(TJ)
2	1603.8	74.01	0.003098651	49,696.16
	原油の年間加工量 (万トン)	年間石油原油における エネルギー消費原単位 (kgEO/t)	換算 (TJ/t)	総合エネルギー 消費量(TJ)
3	301.64	68.04	0.002848699	8,592.81
	原油の年間加工量 (万トン)	年間石油原油における エネルギー消費原単位 (kgEO/t)	換算 (TJ/t)	総合エネルギー 消費量(TJ)
4	136.09	71.86	0.003008634	4,094.45
	原油の年間加工量 (万トン)	年間石油原油における エネルギー消費原単位 (kgEO/t)	換算 (TJ/t)	総合エネルギー 消費量(TJ)
5	435.5	48.34	0.002023899	8,814.08

(「中国石油化工集团公司年鑑 2010」 vi 「中国石油天然気集团公司年鑑 2010」 ix より作成)

表 3-3 子会社のデータのまとめ (続)

	ディーゼル燃料 (万トン)	ガソリン (万トン)	軽炭化水素 (万トン)	尿素 (万トン)	ポリオレフィン (万トン)	ブタジエン (万トン)
1	241.82	134.97	87.4	77	66.6	65.5
	ディーゼル燃料 (万トン)	ガソリン (万トン)	ナフサ (万トン)	液化石油ガス (万トン)	灯油 (万トン)	プロピレン (万トン)
2	696.5	325.1	107.68	48.46	39.72	28.91
	ディーゼル燃料 (万トン)	ガソリン (万トン)	液化石油ガス (万トン)	プロピレン (万トン)	ポリプロピレン (万トン)	MEK (万トン)
3	128.5	100	12.41	8.34	5.48	3.17
	灯油 (万トン)	ガソリン (万トン)	液化石油ガス (万トン)	プロピレン (万トン)	ポリプロピレン (万トン)	
4	51.13	49.65	7.22	3.34	2.5074	
	ディーゼル燃料 (万トン)	アスファルト (万トン)	ワックス (万トン)	ナフサ (万トン)	ガソリン (万トン)	石油コークス (万トン)
5	177.75	139.05	32.35	30.47	27.69	21.43

(「中国石油化工集团公司年鑑 2010」 vi 「中国石油天然気集团公司年鑑 2010」 ix より作成)

表 3-4 子会社のデータのまとめ (続)

	ナフサ (万トン)	エチレン (万トン)	アンモニア (万 トン)	灯油 (万トン)	プロピレン (万 トン)	ベンゼンの製 品 (万トン)
1	60.3	58.3	51	26.91	24.4	20.1
	ポリプロピレ ン (万トン)	燃料油 (万ト ン)	パラフィン (万 トン)	ベースオイル (万トン)		
2	28.62	25.06	24.53	14.82		
	プロパン (万トン)	MTBE (万吨)	灯油 (万 トン)	硫黄 (万トン)		
3	2.61	2.45	1.5	0.3186		
4						
	潤滑油成分 (万トン)	液化石油ガス (万トン)	燃料油 (万 トン)	ポリプロピレ ン (万トン)		
5	16.32	8.59	4.88	2.37		

(「中国石油化工集团公司年鑑 2010」 vi 「中国石油天然気集团公司年鑑 2010」 ix より作成)

表 3-5 子会社のデータのまとめ (続)

	石油コークス (万トン)	パラフィン (万トン)	トリフェニル (万トン)	潤滑油成分 (万トン)	アクリル (万トン)
1	18	16.94	15.1	13.66	13.6591
2					
3					
4					
5					

(「中国石油化工集团公司年鑑 2010」 vi 「中国石油天然気集团公司年鑑 2010」 ix より作成)

3.2 研究対象と範囲

3.2.1 研究対象

中国の 2 大石油グループで石油化学製品の生産を行っている両グループの子会社

製品ごとのエネルギー消費原単位の算出：選別した 16 社。

生産額当たりエネルギー消費原単位の算出：選別した 2 2 社。

3.2.2 研究範囲

本研究では石油化学産業を石油の精製企業および石油から化学製品を生産する企業のま
とめと定義する。

石油化学製品のライフサイクルは「Well to Tank」であるが、製品ごとのエネルギー消費
原単位の算出に用いる範囲としては石油化学製品の精製・製造過程のみとする。

また、生産額当たりエネルギー消費原単位の算出に用いる範囲としては石油の精製企業
および石油から化学製品を生産する企業とする。

3.3 エネルギー消費原単位の算出手法・手順

3.3.1 石油化学製品のエネルギー消費原単位の試算に用いる基本手法

石油化学製品のエネルギー消費原単位の試算に用いられる手法は「アロケーション手法」である。

アロケーションというのは、一定の物理量のある基準に基づいて割り振り、目的の物理量を得る手法である。

石油精製の過程の中で同じプラントから複数の製品が生産されることが多い。その場合、消費されたエネルギーを製品ごとに分けるのは困難である。そのため、アロケーション手法を通してある一定の基準を基にエネルギー消費量を各製品に分配することが妥当である。

通常、石油精製プロセス、インプット、アウトプットが明確な場合は生産物の製造工程における Complexity Factor^{xxi}を基にエネルギー消費量を生産物に割り振るが、本研究では製造プロセスが不明という課題を克服するため、生産物の生産量ごとにエネルギー消費量を割り振るアロケーションを試みる。

理由としては、以下の2つが挙げられる。

- 1、 金額当たりのエネルギー消費原単位には為替レートや購買力の換算が必要なため、新興国の原単位を求める際 MER と PPP に大きな差が見られるⁱ。よって物量ベースの原単位を求めた方が、考察に便利である。従って、物量（生産量）の基準を基に原単位を試算するため、アロケーションの手法が適切とされる。
- 2、 中国の石油化学産業において、製造プロセスで消費するエネルギーに関するデータが公開されていないため、ミクロな視点で製造プロセスから製品に関するエネルギー消費原単位を求めるのは難しい。よって、本研究ではマクロな視点からエネルギー消費原単位を算出しようと試みる。また、両石油グループの公表データの内、エネルギー消費に関わるのは各社の年間エネルギー消費量、製品項目、項目ごとの生産量のみであるため、アロケーション手法を用いて、エネルギーを生産量ごとに割り振る方法を検討する。その結果、個別の子会社の製造プロセスにおく製品のエネルギー消費原単位を求めるのではなく、グループの複数の子会社を一つの単位とし、マクロな視点から製品のエネルギー消費原単位が求められると考える。

以上の理由を踏まえた結果、「アロケーション手法」により石油化学製品のエネルギー消費原単位の試算を行う。

3.3.2 石油化学製品のエネルギー消費原単位の試算モデル（その1）

物量ベースの原単位を求めるために以下の数式を試算モデルとする。

$$E_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \quad [1]$$

E_i : i 社の総エネルギー消費量
 a_{ij} : i 社 j 製品の生産量
 x_j : j 製品のエネルギー消費原単位
 $x_j > 0$
 $i=1,2,\dots,m$
 $j=1,2,\dots,n$
 $m \geq n$

子会社 i の製品生産量と対応するエネルギー消費原単位の積の合計は子会社 i の年間エネルギー消費量と等しい。本研究では中国全石油化学産業のエネルギー消費状況を把握したい。従って、個別の子会社のデータを用いて、その会社の生産工程に関わる製品のエネルギー消費原単位を求めるのではなく、多くの子会社のデータを使用し、全体における個別製品の平均エネルギー消費原単位を算出する。よって、子会社の年間のエネルギー消費量と製品の生産量の関係から方程式を立て、複数の子会社の方程式を連立させ、以上の連立方程式のモデルを構築する。また、実際のところ、同じ製品であっても、異なる子会社で生産される際のエネルギー消費原単位が異なるため、 x_j の正確値を求めるのが困難であると判断する。従って、連立方程式を成立させる変数 x_j の最尤解を求めるのが妥当である。このことから、各方程式の残差を最も小さくする最小 2 乗法を使い変数 x_j の最尤解を求める。また、最小 2 乗法を用いて最尤解を求めるため、上記の連立方程式を立てる時、子会社数 m は製品の最大項目数 n (変数の数) より大きい事が望ましい。

しかし、実際のところ、製品の最大項目数は 72 であり、子会社の数より遥かに大きかったため、モデルその 1 による試算は困難だと判断する。従って、次に最大項目数 (変数の数) を減らす試みでモデルその 2 について検討する。

3.3.3 石油化学製品のエネルギー消費原単位の試算モデル (その 2)

モデルその 2 の数式を以下とする。

$$E_i = \sum_{j=1}^{n'} a_{ij} x_j + b_i x_{n'+1} \quad [2]$$

E_i : i 社の総エネルギー消費量
 a_{ij} : i 社 j 製品の生産量
 x_j : j 製品のエネルギー消費原単位
 b_i : i 社製品 j 以外の「その他製品」の生産量
 $x_{n'+1}$: 製品 j 以外の「その他製品」の製造エネルギー消費原単位
 $x_j > 0, x_{n'+1} > 0$
 $i=1,2,\dots,m', j=1,2,\dots,n'$
 $m' \geq n'$

その 1 の最後で述べたように、製品の最大項目数 (変数の数) を減らすため、子会社それぞれの製品を生産量の降順でデータを改めて整理し、各社共通の生産量が最も多い製品 j 個の項目に焦点を当て、それらのエネルギー消費原単位 x_j を求める。

j 個の項目に含まれなかった製品項目を、「その他製品」と扱い、新たに項目を設ける。 b_i は「その他製品」の生産量 (j 個の項目に含まれなかった製品項目の生産量を足し合わせたのも) であって、 $x_{n'+1}$ は i 社の「その他製品」生産における平均的エネルギー消費原単位である。また、当モデルは製品の生産量を基にエネルギー消費量を割り振っている。そのため、「その他製品」の項目を作った後に生じる誤差を最小限にしたいので、「その他製品」

の生産量 b_i が子会社の全生産量 $\sum_{j=1}^{n'} a_{ij} + b_i$ に占める割合が小さい方が望ましい。なぜなら、「その他製品」の生産量が占める割合が小さければ小さいほど、全体のエネルギー消費に与える影響が小さいと考えられるからである。また、子会社で使用されているエネルギーの量は生産量が多い製品に多く使われていて、生産量が少ない製品に少なく使われていることを想定している。従って、今回はその割合を 10%、15%に設定し、データを整理した後に試算を行う。

j 個の製品項目の選別、 i 社子会社の選択について以下にて述べる。

まず、子会社 i の製品を生産量の降順で並び替えたあと、各会社において多い順に 1 番目から 16 番目の項目の中で、会社で一番生産量が高く、且つより多くの子会社に生産されている製品をピックアップし、エネルギー消費原単位を求める対象製品とする。

その結果：ディーゼル燃料、ガソリン、灯油、液化石油ガス、石油コークス、アスファルト、ナフサ、エチレンなどが挙げられる。

当モデルでは、変数を減らすことに重点を置いているため、計算の対象をディーゼル燃料、ガソリン、灯油、ナフサといった油オイル製品と生産量が比較的多い石油コークス、液化石油ガスの合計 6 項目に絞った。

次に、「その他製品」が子会社に占める割合を求める。6 項目から生産量の降順を基準に、製品をピックアップし、製品の組み合わせを考え、いくつかのシナリオを作る。

16 社のデータの中で、ディーゼル燃料、ガソリン、灯油の生産量の合計が子会社の製品生産量合計に占める割合が最小 40.71%、最大 88.52%、60%以上の会社が 9 社であるため、ディーゼル燃料、ガソリン、灯油の組み合わせを固定する。よって、これら以外の製品の組み合わせを考え、シナリオを作る。

シナリオ 1 :

主要製品：ディーゼル燃料、ガソリン、灯油 (計 3 項目)

この三者のエネルギー消費原単位を変数 x_j ($j=1,2,3$) とする。ディーゼル燃料、ガソリン、灯油以外の製品を「その他製品」と定義し、エネルギー消費原単位を変数 $x_{n'+1}$ ($n=3$) とする。

まず、ディーゼル燃料、ガソリン、灯油以外の製品を「その他製品」とし、生産量の合

計を求める。

次に「その他製品」の生産量の合計が子会社の全製品の生産量に占める割合を求める。(図 3-6) 以降では、子会社の名前を省略し、番号で表す。

表 3-6 シナリオ 1：子会社全製品の生産量と「その他製品」の割合

	製品生産量合計 (万トン)	ディーゼル燃料、ガソリン、 灯油の生産量合計(万トン)	ディーゼル燃料、ガソリン、 灯油以外が総合生産量に 占める割合
1	991.66	403.70	59.29%
2	1,339.40	1,061.32	20.76%
3	264.78	230.00	13.13%
4	113.85	100.78	11.48%
5	460.90	205.44	55.43%
6	1,560.52	668.52	57.16%
7	945.08	548.03	42.01%
8	1,815.38	945.64	47.91%
9	596.78	413.56	30.70%
10	362.11	295.25	18.46%
11	446.42	284.03	36.38%
12	242.98	197.58	18.68%
13	123.33	89.15	27.71%
14	45.48	19.73	56.62%
15	195.45	104.99	46.28%
16	766.83	641.11	16.39%

(「中国石油化工集团公司年鑑 2010」^{vi}「中国石油天然気集团公司年鑑 2010」^{ix}より作成)

表 3-7 シナリオ 1：変数と選別された子会社数

変数の数	4	「その他製品」が占める割合 が10%以下の子会社数	0
変数の数	4	「その他製品」が占める割合 が15%以下の子会社数	2

続いて、結果の中から「その他製品」が占める割合が 10%以下の子会社数と「その他製品」が占める割合が 15%以下の子会社数を集計する。表 3-7 から分かるよう、シナリオ 1 では、変数が 4 つであることにに対し、「その他製品」が占める割合が 10%以下の子会社数が 0 であり、「その他製品」が占める割合が 15%以下の子会社数が 2 つである。つまり、製品

の数が子会社数より多い、モデルの変数の数が連立方程式の中の方程式の数より多いということである。従って、モデルその 2 は適応されない。

次に、製品の項目の組み合わせを変え、シナリオ 2 を作る。

シナリオ 2 :

主要製品：ディーゼル燃料、ガソリン、灯油、液化石油ガス（計 4 項目）

液化石油ガスを加えた理由としては、生産量が比較的多く（子会社それぞれの製品生産量降順ランキングで、液化石油ガスの生産量が 2 位を占めているのが 1 社、3 位が 4 社、4 位が 4 社である）、且つ 16 社全社が生産しているからである。

シナリオ 1 と同様に変数を定義し、「その他製品」が全製品の生産量に占める割合を求める。（表 3-8）

表 3-8 シナリオ 2：子会社全製品の生産量と「その他製品」の割合

	製品生産量合計 (万トン)	ディーゼル燃料、ガソリン、 灯油、液化石油ガスの生産 量合計(万トン)	ディーゼル燃料、ガソリン、 灯油、液化石油ガス以外が 総合生産量に占める割合
1	991.66	403.70	59.29%
2	1,339.40	1,109.78	17.14%
3	264.78	242.41	8.45%
4	113.85	108.00	5.14%
5	460.90	214.03	53.56%
6	1,560.52	678.34	56.53%
7	945.08	582.90	38.32%
8	1,815.38	1,007.36	44.51%
9	596.78	444.39	25.54%
10	362.11	295.25	18.46%
11	446.42	306.78	31.28%
12	242.98	211.18	13.09%
13	123.33	98.54	20.10%
14	45.48	24.69	45.71%
15	195.45	110.36	43.54%
16	766.83	693.30	9.59%

（「中国石油化工集团公司年鑑 2010」 vi 「中国石油天然気集团公司年鑑 2010」 ix より作成）

表 3-9 シナリオ 2 : 変数と選別された子会社数

変数の数	5	「その他製品」が占める割合が10%以下の子会社数	3
変数の数	5	「その他製品」が占める割合が15%以下の子会社数	4

表 3-9 から分かるように、シナリオ 2 でも変数の数（製品の数）が基準を満たした子会社の数より多い、従って、モデルその 2 を適応できない。しかし、変数の数（製品の数）を生産量の降順と生産している子会社の数に基づき、増やす事によって、「その他製品」の生産量が減少し、各子会社全体の製品の生産量に占める割合が小さくなる。その結果、シナリオ 1 で「その他製品」が占める割合が 10%或は 15%でなかった子会社も、シナリオ 2 では選別される対象となった。従って、以降のシナリオでは、変数の数（製品の数）と子会社の数の組み合わせの変化を観察しつつ、モデルその 2 が適応するシナリオを求める。

以後のシナリオの設定の仕方はシナリオ 1 と 2 と同様なため、主要製品の項目と変数の数、子会社の数のみまとめて以下で表す。

表 3-10 シナリオ 1 からシナリオ 8 までのまとめ

シナリオ	主要製品	変数の数	「その他製品」 が占める割合	方程式の数
1	ディーゼル燃料、 ガソリン、灯油	4	10%以下	0
			15%以下	2
2	ディーゼル燃料、 ガソリン、灯油、 液化石油ガス	5	10%以下	3
			15%以下	4
3	ディーゼル燃料、 ガソリン、灯油、 石油コークス	5	10%以下	1
			15%以下	4
4	ディーゼル燃料、 ガソリン、灯油、 ナフサ	5	10%以下	0
			15%以下	4
5	ディーゼル燃料、 ガソリン、灯油、液 化石油ガス、石油 コークス	6	10%以下	5
			15%以下	5
6	ディーゼル燃料、 ガソリン、灯油、液 化石油ガス、軽油	6	10%以下	4
			15%以下	5
7	ディーゼル燃料、 ガソリン、灯油、石 油コークス、軽油	6	10%以下	1
			15%以下	6
8	ディーゼル燃料、 ガソリン、灯油、液 化石油ガス、石油 コークス、軽油	7	10%以下	6
			15%以下	6

表 3-10 から見ると、シナリオ 1 からシナリオ 8 まで、モデル 2 の条件を満たすシナリオは存在しなかった。

以上の結果から見て、やはり条件を満たす子会社数（方程式の数）が主要製品の数（変数の数）より少ないことが分かる。

よって、「その他製品」が占める割合を変えない上で、変数を減らす方法を以下にて検討する。

3.3.4 石油化学製品のエネルギー消費原単位の試算モデル（その 3）

まず、「その他製品」のエネルギー消費原単位を表す変数を減らすと判断した。

次に以下の試算モデルを構築する。

$$E_i = \sum_{j=1}^{n'} a_{ij} x_j + b'_i \quad [3]$$

E_i : i 社の総エネルギー消費量
 a_{ij} : i 社 j 製品の生産量
 x_j : j 製品のエネルギー消費原単位
 b'_i : i 社製品 j 以外の「その他製品」のエネルギー消費量
 E'_i : i 社の総エネルギー消費量から製品/ i 以外の「その他製品」のエネルギー消費量を差し引いた後のエネルギー消費量
 $x_j > 0$
 $i = 1, 2, \dots, m'$
 $j = 1, 2, \dots, n'$
 $m' \geq n'$

$$b'_i = E_i \times \frac{\text{子会社}i\text{の「その他製品」の生産量}}{\text{子会社}i\text{のすべての製品の生産量}} \quad [4]$$

理由としては、各社の「その他製品」の内訳が異なるため、生産プロセスでのエネルギー消費原単位が異なる。従って、各社「その他製品」における平均のエネルギー消費原単位を求めるのは難しいと判断した。その結果、子会社の総エネルギー消費量から「その他製品」のエネルギー消費量のある基準に基づき、差し引くことにした。その基準が「その他製品」の生産量が子会社全製品の生産量に占める割合である。

また、「その他製品」の生産量がその子会社のすべての製品の生産量に占める割合が無視出来るくらい小さいと前提にしていたため、総エネルギー消費量から「その他製品」のエネルギー消費量を差し引く方法は妥当である。差し引いた後のモデルと以下にて表す。

$$E'_i = E_i - b'_i \quad [5]$$

$$E'_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \quad [6]$$

表 3-11 シナリオ 9 からシナリオ 16 のまとめ

シナリオ	主要製品	変数の数	「その他製品」が占める割合	方程式の数
9	ディーゼル燃料、ガソリン、灯油	3	10%以下	0
			15%以下	2
10	ディーゼル燃料、ガソリン、灯油、液化石油ガス	4	10%以下	3
			15%以下	4
11	ディーゼル燃料、ガソリン、灯油、石油コークス	4	10%以下	1
			15%以下	4
12	ディーゼル燃料、ガソリン、灯油、ナフサ	4	10%以下	0
			15%以下	4
13	ディーゼル燃料、ガソリン、灯油、液化石油ガス、石油コークス	5	10%以下	5
			15%以下	5
14	ディーゼル燃料、ガソリン、灯油、液化石油ガス、ナフサ	5	10%以下	4
			15%以下	5
15	ディーゼル燃料、ガソリン、灯油、石油コークス、ナフサ	5	10%以下	1
			15%以下	6
16	ディーゼル燃料、ガソリン、灯油、液化石油ガス、石油コークス、ナフサ	6	10%以下	6
			15%以下	6

その結果、前節で挙げたシナリオの中で「その他製品」が全製品に占める割合が 15%以下の場合のシナリオ 15 が適応することが判明された (表 3-11)。以下でシナリオ 15 に基づき、試算する。

まず、シナリオ 15 の中で条件を満たす子会社のデータを整理する。

表 3-12 シナリオ 15：子会社に関するデータ

	子会社名	石油原油加工量 (万吨)	年間エネルギー 消費原単位 (kgEO/t)	換算(TJ/t)
2	大连石化分公司（中国石油大连石油化工公司）	1603.8	74.01	0.003099
3	哈尔滨石化分公司	301.64	68.04	0.002849
4	呼和浩特石化分公司	136.09	71.86	0.003009
10	荆门石化	480.01	78.33 ³	0.003280
12	沧州炼化	293.88	61.39	0.002570
16	海南炼化	822.11	69.43	0.002907

（「中国石油化工集团公司年鑑 2010」^{vi} 「中国石油天然气集团公司年鑑 2010」^{ix} より作成）

表 3-13 シナリオ 15：子会社に関するデータ（続）

b1	b2	x1	x2	x3	x4	x5	others
総合エネルギー消費 (TJ)	総合エネルギー消費「 その他製品」以外(TJ)	ディーゼル燃料 (万吨)	ガソリン(万吨)	灯油 ¹ (万吨)	ナフサ (万吨)	石油コークス (万吨)	その他製品 (万吨)
49696.15961	43373.75734	696.5	325.1	39.72	107.68	0	170.40
8592.814819	7457.7204	128.5	100	1.5	0	0	34.78
4094.450664	3624.489781	0	49.65	51.13	0	0	13.07
15742.02606	14363.49565	173.83	97.93	23.49	0	35.15	31.71
7553.528637	6682.158945	132.24	65.34	0	0	17.37	28.03
23897.87646	7330.263936	0	605.68 ³	35.43	14	0	111.72
		1 Jet Fuelと(或は) Keroseneを含む					
		2 出所: http://www.sinopecnews.com.cn/b2b/content/2009-12/09/content_709585.htm					
		3 #90, #93, #97, 0#ガソリンの合計					

（「中国石油化工集团公司年鑑 2010」^{vi} 「中国石油天然气集团公司年鑑 2010」^{ix} より作成）

続いて、エネルギー消費原単位の試算に用いる行列を作成し、最小 2 乗法を使用して試算する。

表 3-14 シナリオ 15 : 試算の行列

b1	b2	x1	x2	x3	x4	x5	others
49696.15961	43373.75734	696.5	325.1	39.72	107.68	0	170.4
8592.814819	7464.150835	128.5	100	1.5	0	0	34.7786
4094.450664	3624.489781	0	49.65	51.13	0	0	13.0674
15742.02606	14363.49565	173.83	97.93	23.49	0	35.15	31.71
7553.528637	6682.158945	132.24	65.34	0	0	17.37	28.03
23897.87646	20416.17809	0	605.68	35.43	14	0	111.72

利用するデータは「その他製品」のエネルギー消費量を差し引いた後の b2 と x1 から x5 までの変数に関する係数である。

試算した結果は以下となる。

表 3-15 シナリオ 15 : 試算の結果

変数	結果
x1=	31.3135
x2=	28.6319
x3=	49.5153
x4=	95.5303
x5=	120.835
resnorm =	2.90E+06
residual =	1.0e+03 *
	0.0023
	0.5029
	-0.3288
	0.7059
	-1.4284
	-0.0173

製品項目	エネルギー消費原単位(TJ/万トン)
ディーゼル燃料	31.31
ガソリン	28.63
灯油	49.52
ナフサ	95.53
石油コークス	120.84

表 3-15 から見ると、ディーゼル燃料のエネルギー消費原単位は 31.31TJ/万トン、ガソリンは 28.63 TJ/万トン、灯油は 49.52 TJ/万トン、ナフサは 95.53 TJ/万トン、石油コークス 120.84 TJ/万トンである。「resnorm」は最小残差の二乗ノルムであり、「residual」は各方程式の残差である。

結果の中で、他の製品と比べて、石油コークスは非常に高い数値となっていて、同じくナフサもそうである。

製造プロセスから見ると、中国のナフサは分留で直接取得できる^{xxii,xxiii}。それにも関わらず、製造過程の多いガソリンより消費原単位が大きいという事は非常である。日本のデータを参考にして見ても、ガソリンのエネルギー消費原単位は比較的高いことが分かる。例えば、精製段階における石油製品ごとのエネルギー消費で、ガソリンは 1,203,000kcal/kl

に対し、灯油は 273,000kcal/kl である ^{xxi}。

また、石油コークスは「アスファルトクラスの重質油をコーキング装置で処理し熱分解を行ったときの残渣 ^{xix}」である。つまり、一種の副産物である。そのため、エネルギー消費原単位が主要製品より遥かに大きいことは難しいと考えられる。

シナリオ 15 以外に、日本の石油製品におけるエネルギー消費原単位を参考にしたシナリオを検討する。

具体的な方法は、日本の石油精製におけるガソリンのエネルギー消費原単位と灯油の原単位の比率を割り出し、それを中国のガソリンのエネルギー消費原単位と灯油の原単位の比率とする。

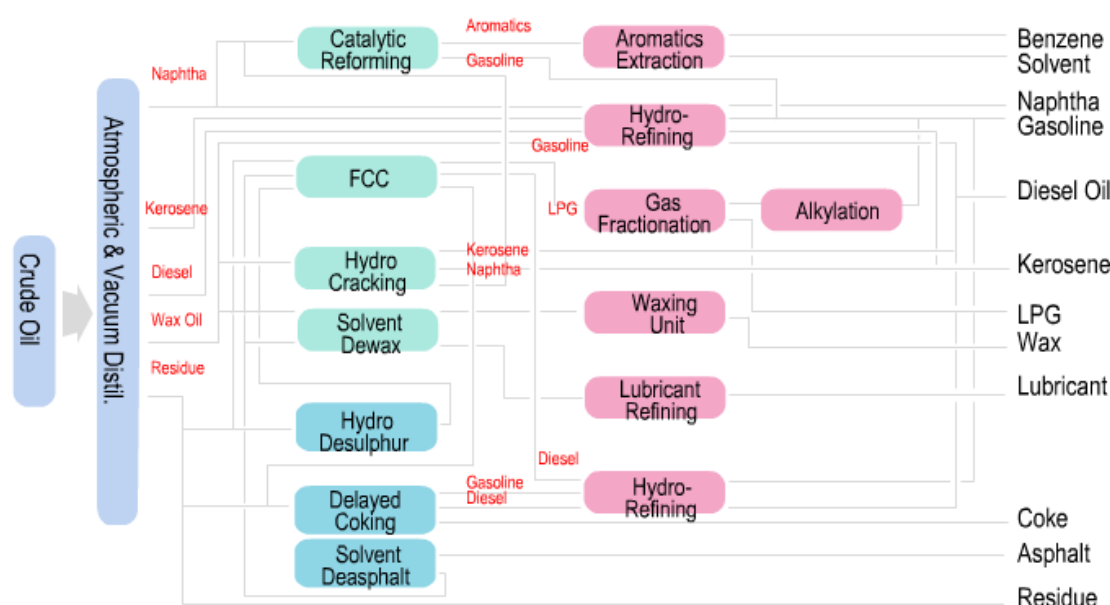


図 3-1 石油精製のフロー

(出所：中国石油化工集团公司英語ホームページ ^{xxiii})

理由としては、中国の製造過程は詳しく書かれていないが、ガソリンの大まかな製造方法は接触改質、水素化精製、アルキル化などの工程の産物を配合することである ^{xxiii}。それに対し、日本の製造方法もほぼ同じである ^{xxi}。また、灯油についても同様である。ただし、本研究では産業全体を研究対象としているため、個別の会社の設備による差異はあるとしても、一般的な製造過程について検討すべきだと判断した。

日本の石油精製段階における石油製品ごとのエネルギー消費で、ガソリンは 1,203,000kcal/kl (67.15TJ/万トン) に対し、灯油は 273,000kcal/kl (14.47TJ/万トン) であって ^{xxi}、その比率は約 4.64 倍である。従って、すべての子会社において、この比率を使

用し、新たにシナリオ 17 からシナリオ 24 を作る。

シナリオの中の主要製品も「その他製品」が子会社の全製品の生産量に占める割合も変わらない。従って、選別された子会社も変わらない。つまり、方程式の数も方程式の係数も変わらない。ただ、ガソリンのエネルギー消費原単位を灯油の原単位の約 4.64 倍に設定したことによって、ガソリンを灯油で表す事ができるようになり、製品項目の数（変数の数）が一つ少なくなる。

以上の考えを踏まえて、シナリオ 17 からシナリオ 24 までまとめて表 3-16 で表した。

表 3-16 シナリオ 17 からシナリオ 24 までのまとめ

シナリオ	主要製品	変数の数	「その他製品」 が占める割合	方程式の数
17	ディーゼル燃料、 ガソリン、灯油	2	10%以下	0
			15%以下	2
18	ディーゼル燃料、 ガソリン、灯油、液 化石油ガス	3	10%以下	3
			15%以下	4
19	ディーゼル燃料、 ガソリン、灯油、 石油コークス	3	10%以下	1
			15%以下	4
20	ディーゼル燃料、 ガソリン、灯油、ナ フサ	3	10%以下	0
			15%以下	4
21	ディーゼル燃料、 ガソリン、灯油、 液化石油ガス、石 油コークス	4	10%以下	5
			15%以下	5
22	ディーゼル燃料、 ガソリン、灯油、 液化石油ガス、ナ フサ	4	10%以下	4
			15%以下	5
23	ディーゼル燃料、 ガソリン、灯油、石 油コークス、ナフサ	4	10%以下	1
			15%以下	6
24	ディーゼル燃料、 ガソリン、灯油、液 化石油ガス、石油 コークス、ナフサ	5	10%以下	6
			15%以下	6

シナリオ 18 からシナリオ 24 まで、子会社の数（方程式の数）が変数の数より多いという条件を満たしているので、試算を行う。且つ、結果を以下にまとめる。

表 3-17 シナリオ 18 からシナリオ 24 までの結果

シナリオ18		シナリオ19		シナリオ20	
変数	結果	変数	結果	変数	結果
x1=	21.0532	x1=	3.2079	x1=	34.2642
x2=	13.7019	x2=	66.0438	x2=	31.6398
x3=	3.1094	x3=	14.9875	x3=	7.1801
x4=	255.8643	x4=	162.5022	x4=	82.8048
resnorm =	2.19E+06	resnorm =	2.09E+06	resnorm =	2.88E+06
residual =	1.0e+03 *	residual =	1.0e+03 *	residual =	1.0e+03 *
	0.6114		0.4251		0.021
	1.1975		-0.4209		-0.1136
	-0.5941		0.5825		1.6864
	-0.1562		-1.1787		-0.1612

シナリオ21		シナリオ22		シナリオ23	
変数	結果	変数	結果	変数	結果
x1=	29.2558	x1=	21.8586	x1=	29.9856
x2=	35.5696	x2=	16.9976	x2=	31.0766
x3=	8.0719	x3=	3.8573	x3=	7.0523
x4=	0.0000	x4=	225.4375	x4=	112.1497
x5=	138.4681	x5=	0.0000	x5=	143.6255
resnorm =	6.02E+06	resnorm =	2.06E+06	resnorm =	7325700
residual =	1.0e+03 *	residual =	1.0e+03 *	residual =	1.0e+03 *
	0.5385		-0.0070		0.0294
	1.7054		0.5548		0.4928
	0.7379		1.2153		1.7210
	-1.4932		-0.5022		0.8937
	-0.2234		-0.1547		-1.8085
					-0.2262

シナリオ24	
変数	結果
x1=	31.6914
x2=	33.7906
x3=	7.6682
x4=	109.3928
x5=	130.6624
x6=	0.0000
resnorm =	6.55E+06
residual =	1.0e+03 *
	0.0295
	0.4040
	1.8144
	0.7726
	-1.5634
	-0.2267

表 3-18 シナリオ 18 からシナリオ 24 までの変数と製品項目

	x1	x2	x3	x4	x5	x6
シナリオ18	ディーゼル燃料	ガソリン	灯油	液化石油ガス	無	無
シナリオ19	ディーゼル燃料	ガソリン	灯油	石油コークス	無	無
シナリオ20	ディーゼル燃料	ガソリン	灯油	ナフサ	無	無
シナリオ21	ディーゼル燃料	ガソリン	灯油	液化石油ガス	石油コークス	無
シナリオ22	ディーゼル燃料	ガソリン	灯油	ナフサ	液化石油ガス	無
シナリオ23	ディーゼル燃料	ガソリン	灯油	ナフサ	石油コークス	無
シナリオ24	ディーゼル燃料	ガソリン	灯油	ナフサ	石油コークス	液化石油ガス

シナリオ 1～シナリオ 24 の中の変数の数が方程式の数と等しい場合も存在するが、実際試算した所、個別の製品の原単位がマイナスになることが分かった。

3.3.5 生産額あたりエネルギー消費原単位の試算モデル

物量ベースの原単位を求める以外に、生産額当たりのエネルギー消費原単位の試算も行う。

中国の石油化学産業の生産額当たりのエネルギー消費原単位を求める試算モデルは以下である。

$$\begin{aligned}
 & \text{産業の年度の生産額あたり} &= & \frac{\text{産業の年度の生産における総エネルギー消費量}}{\text{産業の年度の総生産額}} \\
 & \text{エネルギー消費原単位} & & \\
 \\
 & \text{産業年度の生産における} &= & \underbrace{\sum \left(\text{各社年度の原油加工の} \times \text{各社年度の原油の} \right)}_{\text{明確な部分}} \\
 & \text{総エネルギー消費量} & & \text{エネルギー消費原単位} \quad \text{加工量} \\
 & & & \\
 & + \left[\text{年度の原油加工の} \times \left(\text{年度の石油原油の総加工量} - \text{各社石油原油の年度加工量の合計} \right) \right] & & \\
 & \text{加重平均} & & \\
 & & & \underbrace{\hspace{15em}}_{\text{推測の部分}}
 \end{aligned}$$

産業年度の総生産額 = 各社の年度生産額の合計

石油化学産業の年度の生産額当たりのエネルギー消費原単位を求めるために、産業の年間生産に使われたすべてのエネルギー消費量と年間の総生産額を知る必要がある。

本研究では石油化学産業の石油化学品の製造におけるエネルギー消費に範囲を絞る。

従って、産業年間生産の総エネルギー消費量は石油化学品を行っている企業が年間に使ったエネルギー量の合計である。しかし、今回のデータは中国の石油 2 大グループのみであり、中国の石油化学産業の約 8 割をカバーしているが、残りの約 2 割の企業のエネルギー消費量は不明である。また、2 大グループ内でも、エネルギー消費に関する記載が年鑑^{vi.ix}にない子会社も存在するため、エネルギー消費状況が分からない部分が大きくなった。よって、産業年間生産の総エネルギー消費量に関しては、2 大グループの年鑑^{vi.ix}に載っている数字から計算できる「明確な部分」と、2 大グループの平均データを使い、産業の残りの部分を推測する「推測の部分」の二つに分けて考えることにする。

産業の年間総生産額は石油化学製品を生産する各社の年間生産額の合計を使用する。つまり、本研究では中国の石油化学産業の製品生産に関するエネルギー消費状況の把握を試みるため、2 大石油グループ以外の企業の生産額も必要とする。しかし、生産額に関するデ

一タの取得が難しかったため、2大石油グループの年鑑^{vi.ix}に記載された生産額のみを使用し、年間総生産額を求めたい。

となると、数式の分母と分子の計算対象範囲を統一するために、産業年間生産の総エネルギー消費量も年鑑^{vi.ix}に記載された物を使用する。

従って、データの制限により、本節では中国の石油化学産業の生産額当たりのエネルギー消費原単位を求めず、2大グループの年間生産額当たりのエネルギー消費原単位を求めることにする。数式は以下である。

$$\text{グループの年度の生産額あたりエネルギー消費原単位} = \frac{\text{グループの年度の生産における総エネルギー消費量}}{\text{グループの年度の総生産額}}$$

$$\text{グループの年度の生産における総エネルギー消費量} = \sum \left(\text{各子会社年度の原油加工のエネルギー消費原単位} \times \text{各子会社年度の石油原油の加工量} \right)$$

グループの年度の総生産額=各子会社の年度生産額の合計

3.3.6 生産額あたりエネルギー消費原単位の試算手順

まず、年鑑^{vi.ix}の石油化学製品を製造している子会社から石油原油加工量、石油原油加工におけるエネルギー消費原単位、2009年度の生産額をすべて記載しているものを選び、データを整理する。

次に、子会社それぞれの2009年度に使用したエネルギー量を計算し、「TJ」に換算する。この際に2つ注意する事がある。

一つは、石油原油加工におけるエネルギー消費原単位の単位である。整理した子会社の中では「kg標準油/トン」(kgEO/t)と「t標準石炭/万元」(tSCE/10,000RMB)の2種類の単位で石油原油加工におけるエネルギー消費原単位を表している。前者は1トンの石油原油を加工するために消費するエネルギー量を「kg標準油」で表した物であり、後者は1万元の生産額に消費するエネルギー量を「t標準石炭」で表した物である。計算し易くするために、換算をし、最後の石油原油加工におけるエネルギー消費量の単位を「TJ」に統一する。換算の方法は以下となる。

「kg標準油/トン」(kgEO/t)の場合：

$$1,000\text{kgEO/t}=41,868\text{MJ/t}=0.041868*10^6\text{TJ/t}^{\text{iii}}$$

石油原油加工におけるエネルギー消費量 (TJ)

=石油原油加工におけるエネルギー消費原単位 (kgEO/t) *石油原油の加工量 (10,000t)

=[石油原油加工におけるエネルギー消費原単位 (kgEO/t) /1,000]*0.041868*10⁻⁶*石油原油の加工量 (10,000t)

「t 標準石炭/万元」(tSCE/10,000RMB) の場合 :

1,000kgSCE/10,000RMB=29,308MJ/10,000RMB =0.029308*10⁻⁶TJ/10,000RMBⁱⁱⁱ

石油原油加工におけるエネルギー消費量 (TJ)

=製品生産額当たりエネルギー消費原単位 (tSCE/10,000RMB) *会社の生産額 (10⁸RMB)

=製品生産額当たりエネルギー消費原単位 (tSCE/10,000RMB) *0.029308*10⁻⁶*会社の生産額 (10⁸RMB)

もう一つは、「仪征化纤」と「湖北化肥」の二つの子会社には2つの製品生産額当たりエネルギー消費原単位が記載されていた。なぜなら、この二つの子会社はそれぞれ更に2つの会社で出来ている。そのため、石油原油加工におけるエネルギー消費量を求める際には、それぞれの原単位にそれぞれの生産額を掛ける。最後に「仪征化纤」と「湖北化肥」の二つの子会社のエネルギー消費量はそれぞれの下の子会社のエネルギー消費量の合計で表す。

以上の注意に気を配って集計した結果が以下となる (表 3-19)。

表 3-19 生産額当たりエネルギー消費原単位の関連データ

	会社名	年度石油原油加工量(万トン)	年度石油原油加工におけるエネルギー消費原単位(kgEO/t) 赤は (tSCE/10,000RMB)	換算(TJ/t) 1TJ=1000000MJ (赤はTJ/万元)	総エネルギー(TJ)	生産額(億元)	生産額(万元)
1	燕山化工	1079.06	63.78	0.002670341	28,814.58	588.18	5881800
2	齐鲁化工	1006.14	68.52 ¹	0.002868837	28,864.52	494.00	4940000
3	金陵石化		0.55	0.016119400	83,912.76	520.57	5205700
4	茂名石化	1298.04	53	0.002219004	28,803.56	631.10	6311000
5	镇海石化		0.47	0.013774760	101,471.77	736.65	7366500
6	仪征化纤		0.52/0.18		20,362.61	137.60	1376000
7	南京化工		2.33	0.068287640	38,732.75	56.72	567200
8	福建炼化	704.28	90.15	0.003774400	26,582.35	275.70	2757000
9	广州石化		0.8	0.023446400	97,054.03	413.94	4139400
10	洛阳石化		0.61	0.017877880	52,328.55	292.70	2927000
11	荆门石化	480.01	78.33 ²	0.003279604	15,742.43	196.25	1962500
12	四川维尼纶厂		4.86	0.142436880	22,334.10	15.68	156800
13	九江石化	453.54	69.32 ³	0.002902415	13,163.61	183.60	1836000
14	湖北化肥		9.04/3.06		18,029.99	9.18	91800
15	武汉石化		0.4	0.011723200	16,870.86	143.91	1439100
16	沧州炼化	293.88	61.39	0.002570277	7,553.53	122.98	1229800
17	润滑油分公司		0.03	0.000879240	1,135.54	129.15	1291500
18	保定石化厂		0.06	0.001758480	4.04	0.23	2300
19	青岛石化	136.3	0.37	0.010843960	5,789.59	53.39	533900
20	北海分公司	53.21	0.42	0.012309360	2,695.75	21.90	219000
21	塔河分公司	205.82	50.77	0.002125638	4,374.99	64.71	647100
22	海南炼化	822.11	69.43	0.002906895	23,897.88	371.25	3712500
				1 出所: http://www.sinopecnews.com.cn/b2b/content/2009-12/17/content_714314.htm			
				2 出所: http://www.sinopecnews.com.cn/b2b/content/2009-12/09/content_709585.htm			
				3 出所: http://www.sinopecnews.com.cn/b2b/content/2009-12/10/content_710944.htm			

(「中国石油化工集团公司年鑑 2010」 vi 「中国石油天然气集团公司年鑑 2010」 ix より作成)

計算の結果は以下となる。

表 3-20 生産額当たり原単位のまとめ

	TJ	生産額(万元)		石炭換算トン ¹ (TCE/万元)
総エネルギー (標準石炭換算)	460,722.35	25,316,200	生産額原単位 (標準石炭換算)	0.62
総エネルギー (合計)	638,519.79	54,593,900	生産額原単位(合計)	0.40

1 石炭換算トンTCE: ton of coal equivalent 1TCE=0.7×107 kcal

3.4 中国の石油化学産業のエネルギー消費原単位の算出結果と考察

製品ごとエネルギー消費原単位：

表 3-21 製品項目に関するエネルギー消費原単位のまとめ

シナリオ	製品項目 (TJ/万トン)						残差の2乗 resnorm
	ディーゼル燃料	ガソリン	灯油 ¹	ナフサ	石油コークス	液化石油ガス	
15	31.3135	28.6319	49.5153	95.5303	120.835	N/A	2.90E+06
18	20.7822	13.21466857	2.847	N/A	N/A	261.68	2.20E+06
19	2.7254	66.68557144	14.3669	N/A	163.5636	N/A	2.08E+06
20	34.2553	31.65811275	6.8205	82.9397	N/A	N/A	2.94E+06
21	29.2328	35.59373533	7.6684	N/A	138.7394	0	6.10E+06
22	21.7942	16.9548793	3.6528	226.0719	N/A	0	2.08E+06
23	29.9686	31.09230028	6.6986	112.3422	143.861	N/A	7.40E+06
24	31.6732	33.8081073	7.2837	109.5983	130.9152	0	6.63E+06

¹ Jet Fuelと(或は)Keroseneを含む
注:N/Aは原単位を求めた製品に含まれてない項目を指す

シナリオ 15 は製品項目の比率を導入していなかった場合の結果である。シナリオ 18~シナリオ 19 は「ガソリン」と「灯油」の比率を導入した結果である。

参考として、日本の製品ごとのエネルギー消費原単位を以下にて換算する。

表 3-22 日本の製品ごとエネルギー消費原単位

4°Cの水の密度		1000kcal=		4.18605MJ				
0.999973g/cm3		100MJ/t=		1TJ/10000t				
ガソリン	値	単位	灯油	値	単位	ディーゼル燃料(軽油)	値	単位
比重 ¹	0.75		比重 ¹	0.79		比重 ¹	0.82	
密度	0.74997975g/cm3		密度	0.78997867g/cm3		密度	0.81997786g/cm3	
	0.74997975t/kl			0.78997867t/kl			0.81997786t/kl	
製造のエネルギー消費原単位 ³	1203000kcal/kl		製造のエネルギー消費原単位 ³	273000kcal/kl		製造のエネルギー消費原単位 ³	395000kcal/kl	
	1604043.309kcal/t			345578.9509kcal/t			481720.3235kcal/t	
	6714.605494MJ/t			1446.610767MJ/t			2016.50536MJ/t	
	67.15TJ/10000t			14.47TJ/10000t			20.17TJ/10000t	
石化向け分解用ナフサ	値	単位	アスファルト(重質残渣)	値	単位			
比重 ²	0.7		比重 ¹	1.04				
密度	0.6999811g/cm3		密度	1.03997192g/cm3				
	0.6999811t/kl			1.03997192t/kl				
製造のエネルギー消費原単位 ³	110250kcal/kl		製造のエネルギー消費原単位 ³	56000kcal/kl				
	157504.2526kcal/t			53847.60773kcal/t				
	659.3206767MJ/t			225.4087783MJ/t				
	6.59TJ/10000t			2.25TJ/10000t				

1 株式会社リョーワ <http://ryowa-oil.co.jp/sankou/data1.html>

2 石油化学工業協会 <http://www.jpca.or.jp/64dict/dict.htm#na>

3 「石油製品油種別LCI作成と石油製品環境影響評価調査報告書」, (財団法人)石油産業活性化センター, 2000

考察：

日本の値を参考にしてみるとシナリオ 15 の「ガソリン」と「灯油」の比率が日本とかけ離れている。「ガソリン」の製造過程は「灯油」より複雑にも関わらず、原単位は灯油より低いことから、現実とかけ離れた結果と判断する。また、「石油コークス」は副産物であるが、原単位が非常に大きいことから、この結果は最適ではないと判明された。

シナリオ 24 は全 6 項目のエネルギー消費原単位を求めたものである。「ナフサ」と「石油コークス」の原単位が非常に大きいことが見られる。また、「液化石油ガス」の原単位が 0 である。さらに、残差の 2 乗が比較的大きいことから、これも最適な結果ではないと判断した。

その中で、「ガソリン」の値が日本に最も近く、残差の 2 乗が最も小さいのがシナリオ 19 である。しかし、「石油コークス」の原単位が大きいこと、また、「ナフサ」「液化石油ガス」を「その他製品」に割り入れたため、原単位が不明なことから、これも最適な結果ではないと判断した。

このような結果となった原因は以下と考えられる。

1. 石油精製過程にて「ディーゼル燃料」「ガソリン」のみ生産し、「ナフサ」の生産量が 0 というケースはおかしいが、今回のデータの中にこのようなデータが存在していたため、計算に誤差を招いたと考えられる。「ナフサ」の生産量が 0 というのは、「ナフサ」を自社利用した可能性がある。
2. 「ガソリン」の生産効率が非常に良い企業が存在していたことから、「ガソリン」の原単位が低くなったとも考えられる。
3. 「石油コークス」を生産している企業のエネルギー消費量が多いため、原単位が大きくなった可能性がある。

生産額当たりエネルギー消費原単位：

表 3-23 生産額当たりエネルギー消費原単位のまとめ

	TJ	生産額(万元)		石炭換算トン ¹ (TCE/万元)
総エネルギー (標準石炭換算)	460,722.35	25,316,200	生産額原単位 (標準石炭換算)	0.62
総エネルギー (合計)	638,519.79	54,593,900	生産額原単位(合計)	0.40

¹ 石炭換算トンTCE: ton of coal equivalent 1TCE=0.7×10⁷ kcal

生産額当たりエネルギー消費原単位を求める際、企業全体のエネルギー消費量と用いるべきなため、「総エネルギー」を計算する時に使うデータを子会社の「製品生産額当たりエネルギー消費原単位」掛ける子会社の「会社の生産額」で求める事にした。よって、中国

石油化学産業における生産額当たりエネルギー消費原単位の算出結果と赤字の0.62TCE/万元とする。

考察：

国内の比較と日本との比較を行うために、以下の用にデータを収集し、換算した。

表 3-24 エネルギー消費原単位の換算用データ

石炭換算トンTCE: ton of coal equivalent ¹	1TCE= 0.7×10^7 kcal
石油換算トンTOE: ton of oil equivalent ¹	1TOE= 10^7 kcal
	4.1868MJ= 1cal
元/ドル為替レート(2009/12/31) ²	1元= 0.1464USD
円/元為替レート(2009/12/31) ²	1円= 0.07373元
円/USD為替レート(2009/12/31) ²	1円= 0.0108USD

1 寺村孝太郎研究室, http://homepage3.nifty.com/teramura/on_energy/study_energy_equiv.html, 2007

2 Searchina.com, <http://searchina.ne.jp/exchange/>, 2010

表 3-25 中国国内の石油化学産業における生産額当たりエネルギー消費原単位

2006年	2009年	単位
	0.0182	TJ/万元
	18198.72	MJ/万元
	4346688.76	kcal/万元
0.70 ¹	0.62	石炭換算 (トンTCE/ 万元)

1 「世界各国のエネルギー起源CO2排出量の長期トレンドの分析」星野 優子, 杉山 大志, 電力中央研究所, 2010

表 3-26 日中の石油化学産業における生産額当たりエネルギー消費原単位

日本				中国			
2005年	単位	2009年	単位	2005年	単位	2009年	単位
						0.0182	TJ/万元
		42.97	GJ/100 万円			18198.72	MJ/万元
		3978703.70	MJ/ millionUSD			4346688.76	kcal/万元
		950297053.5	kcal/ millionUSD			0.6210	石炭換算 (トンTCE/ 万元)
47.05 ¹	石油換算 トンTOE/ millionUSD (2000年 価格)	95.03	石油換算 トンTOE/ millionUSD (2009年価 格)	734.75 ¹	石油換算 トンTOE/ millionUSD (2000年 価格)	605.93	石油換算 トンTOE/ millionUSD (2009年価 格)

¹ 経済産業省資源エネルギー庁, <http://www.enecho.meti.go.jp/info/statistics/energy/kekka/21/21result-2.htm>, 2011

国内の比較と日中の比較と以下にて表す。

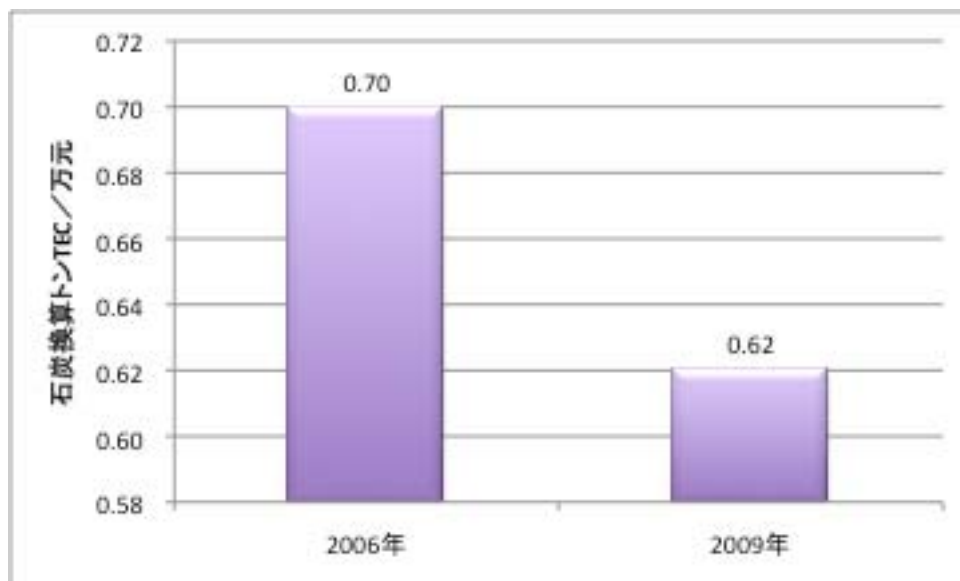


図 3-2 中国石油化学産業の生産額当たりエネルギー消費原単位

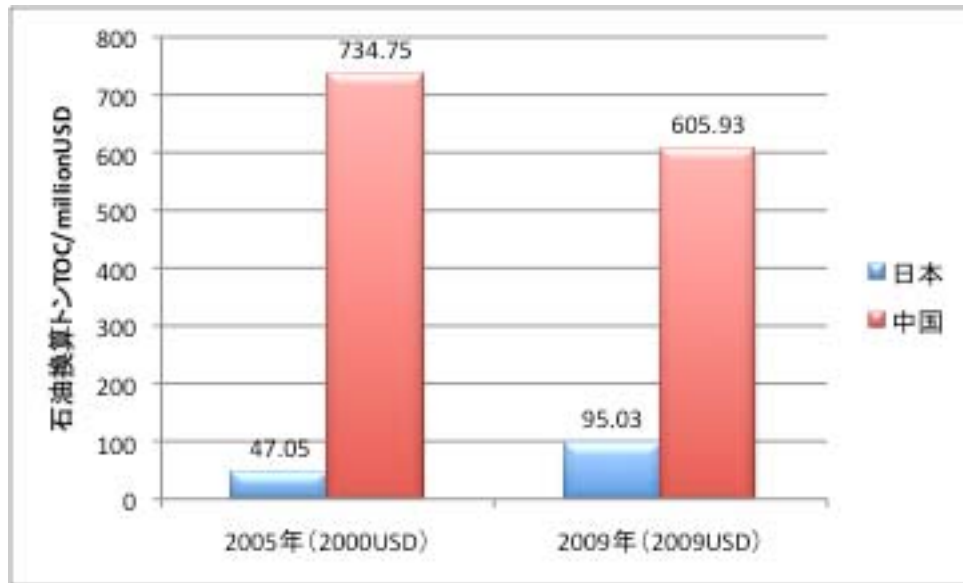


図 3-3 日中石油化学産業の生産額当たりエネルギー消費原単位

以上のグラフから、中国国内において、2006年から2009年まで生産額当たりエネルギー消費原単位は低下した。また、日中の格差は2005年から2009年の間に縮まったことが判明された。よって、中国の石油化学産業における生産額当たりエネルギー消費原単位の低下が検証された。

第4章 結論と今後の展望

4.1 結論

本研究において、中国 2 大石油グループの子会社に関する限りある公開データを用いて、中国の石油化学製品個別のエネルギー消費原単位（物量ベース）を求める新たな試みを行った。しかし、データの不十分を感じ、個別の製品のエネルギー消費原単位を生産量に基づいてアロケーションすることが難しいと判明された。また、中国のデータに不完全な所が存在することも判明した。

一方、2009 年度中国石油化学産業の生産額当たりのエネルギー消費原単位の算出の結果を用いて、全体のエネルギー消費原単位の国内での比較と先進国日本との比較が実現でき、中国石油化学産業におけるエネルギー消費効率の向上を検証する事が出来た。

4.2 今後の展望

本研究から、生産額と使用エネルギー消費量のみで製品エネルギー消費原単位を求めることが難しいと判明された。今後は中国の石油化学製品とエネルギー消費との関係について深く探り、製品ごとのエネルギー消費原単位を求める新たな手法を考えたい。

また、中国の石油化学産業は環境保全に関する意識が高まっている中、中国の情報の公開性はより高くなる可能性があり、データの完成度も高まると考えられる。よって、公開されたデータと共に将来的には企業との合同調査による製品ごとエネルギー消費原単位の算出を実現させたい。

2009 年の生産額当たりエネルギー消費原単位については、本研究の資料データから利用出来ると判断したデータ数が少なかったため、狭い範囲での算出になった。今後はより多くの企業データを用いて、更に広い範囲での算出が実現出来れば、より正確な中国の石油化学産業に関する生産額当たりエネルギー消費原単位を求める事が出来る。その結果をお用いてエネルギー消費効率の動向を探りたい。

謝辞

本論文は筆者が東京大学大学院工学系研究科技術経営戦略学専攻修士課程に在籍中の研究成果をまとめたものである。同専攻教授影山和郎先生には指導教員として本研究の実施の機会を与えて戴き、その遂行にあたって終始、ご指導を戴いたことに深謝の意を表す。同専攻教授渡部俊也先生には副査としてご助言を戴くとともに本論文の細部にわたりご指導を戴いた。ここに深謝の意を表す。また、辻信之先生、西野成昭先生、長谷川克也先生にも研究の終始にご助言とご指導を戴いた。ここに深謝の意を表す。本研究では株式会社産業情報研究センターの林廣和室長、財団法人電力中央研究所の星野優子氏、一般財団法人石油エネルギー技術センターの渡邊学上席主任研究員に資料を提供して戴くとともに有益なご助言を戴いた。ここに同氏に対して感謝の意を表す。本専攻影山・辻研究室の各位には研究遂行にあたり日頃より有益なご討論ご助言を戴いた。ここに感謝の意を表す。

-
- i 星野 優子, 杉山 大志, 「世界各国のエネルギー起源 CO₂ 排出量の長期トレンドの分析」, 『電力中央研究所報告』 Y09023, 2010 年 5 月,
入手先<<http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/Y09023.html>> (参照 2011-6-1)
- ii 「G8 首脳宣言 (仮訳)」, 2009 年 7 月, 外務省,
入手先<http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/summit/italy09/pdfs/sengen_k.pdf> (参照 2011-07-23)
- iii Michael R. Raupach, Gregg Marland, Philippe Ciais, Corinne Le Quere, Josep G. Canadell, Gernot Klepper, and Christopher B. Field (2007), “Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions”, PNAS,
入手先< <http://www.pnas.org/content/104/24/10288.full.pdf+html>> (Reference 2011-7-24)
- iv 「IV-001 世界各国の GDP(上位 60)」, 2011 年 4 月, (財団法人) 国際貿易投資研究所 (ITI),
入手先< <http://www.iti.or.jp/stat/4-001.pdf> > (参照 2011-7-31)
- v 「世界の統計 第 3 章 国民経済計算 3-1 世界の国内総生産 (名目 GDP, 構成比)」, 2011 年 1 月, 総務省統計局,
入手先<<http://www.stat.go.jp/data/sekai/03.htm#h3-01>> (参照 2011-7-25)
- vi 中国石油化工集团公司年鑑 2010 版編委会, 2010 年 10 月, 『中国石油化工集团公司年鑑 2010』, 中国石化出版社
- vii “Calculation method for energy consumption in petrochemical engineering design”, 2002 年 3 月, 中華人民共和国国家経済貿易委員会,
入手先<<http://www.doc88.com/p-4570455458.html>> (参照 2011-7-5)
- viii 中国統計局, 2011 年 1 月, 『中国能源統計年鑑 2010』, 中国統計出版社
- ix 中国石油天然気集团公司年鑑編委会, 2010 年 12 月, 『中国石油天然気集团公司年鑑 2010』, 石油工業出版社
- x 「中華人民共和国経済と社会発展の第十一年計画全文」, 2006 年 3 月, 新華網,
入手先< http://news.xinhuanet.com/misc/2006-03/16/content_4309517_10.htm> (2011-8-8)
- xi 「原子力百科事典」, 2009 年 3 月, (財団法人) 高度情報科学技術研究機構,
入手先< http://www.rist.or.jp/atomica/dic/dic_detail.php?Dic_Key=2695 > (参照 2011-7-27)
- xii 中国統計局, 2011 年 1 月, 『中国能源統計年鑑 2010』, 中国統計出版社
- xiii 「中国石油化工集团公司」, 2011 年, 中国石油化工集团公司,
入手先<<http://www.sinopecgroup.com/gsj/s/Pages/gsgk.aspx>> (参照 2011-8-2)
- xiv 「集団簡介」, 2011 年, 中国石油天然気集团公司,
入手先<<http://www.cnpc.com.cn/cn/gywm/jtjj/>> (参照 2011-8-2)
- xv 「中国石油」, 2011 年 8 月, 新浪財經,
入手先
<http://money.finance.sina.com.cn/corp/go.php/vCI_CorpInfo/stockid/601857.phtml>
(参照 2011-8-2)
- xvi 「Global 500」, 2010 年 7 月, FORTUNE,
入手先<http://money.cnn.com/magazines/fortune/global500/2010/full_list/> (参照 2011-8-2)
- xvii 「[付録] 第 11 次 5 カ年計画(2006~2010 年)を読むキーワード」, 2005 年 12 月, 大久保勲, 馬成三,
入手先<http://www.mmjp.or.jp/sososha/pdf_file/2010furoku.pdf> (参照 2011-8-3)

-
- xviii 「化工装置節能技術と実例分析」編委会, 2009年5月, 『化工装置節能技術と実例分析』, 中国石化出版社
- xix 「石油便覧」, 2007年, JX日鉱日石エネルギー,
入手先<<http://www.noe.jx-group.co.jp/binran/part05/chapter03/section05.html>> (参照 2011-8-6)
- xx 「石油化学工業の動向」, 2010年7月, JPCA,
入手先<<http://www.jpca.or.jp/4stat/01aramashi/05saihen.htm>> (参照 2011-8-8)
- xxi (財団法人)石油産業活性化センター, 2000年3月, 『石油製品油種別 LCI 作成と石油製品環境影響評価調査報告書』, (財団法人)石油産業活性化センター
- xxii 「百度百科」, 2011年7月, 百度,
入手先<<http://baike.baidu.com/view/1122314.htm>> (参照 2011-8-6)
- xxiii “Flow Chart of Refining Segment”, 2011年, Sinopec Corp.,
入手先<http://english.sinopec.com/about_sinopec/our_business/> (参照 2011-8-6)