

石油と石炭の化学

[第2版]

宮田高年・塚島 寛・植野禎夫／共著

81-713

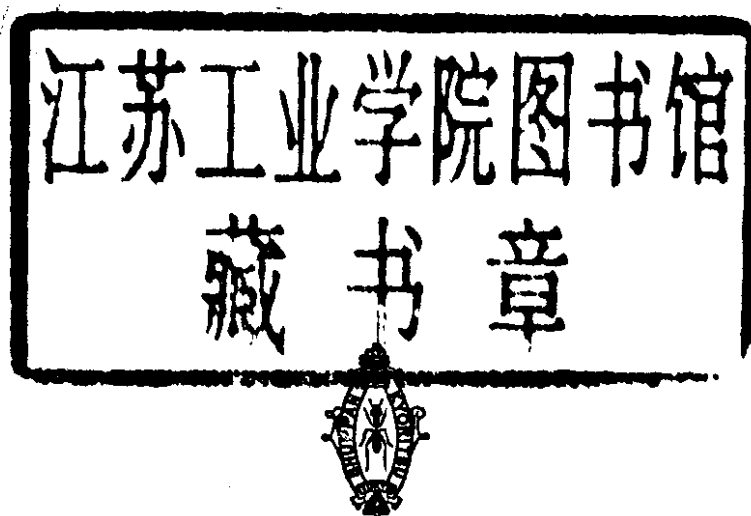
186

石油と石炭の化学

[第2版]

吉田高年・塚島 寛・植野禎夫／共著

akoy 4/107



共立出版株式会社

第二版 はしがき

石油ショックは、わが国に大きな衝撃を与えた。その結果これに対応するいろいろな施策が推進されることになった。その方策の主要なものは第1章に紹介したわが国の1次エネルギー供給の見通しに表わされている。すなわち石油は絶対量では現状維持、比率では総エネルギーの年々供給量の増加のため減少、石炭・原子力・天然ガスは絶対量でも比率でも増加させ、新燃料・新エネルギーにも大きな期待を寄せている。

エネルギー資源としてのみならず、化学製品のうち石油化学製品の占めているシェアは非常に大きく、石油がきわめて重要であることはいうまでもない。石炭資源は石油のそれに比して一桁多く、その利用技術も石炭液化を含め急速に発展進歩し、石炭液化のフルスケールの工場建設も着々と進められている。

最近、石油の試験法に関する JIS の体系が整備されたので、これに対応して本書の内容も一新することとした。また石炭に関する最新の技術には著しい進歩があり、石炭液化技術も戦前とはかなり相違したものとなっているので大幅な増頁により十分な解説をすることとした。

なお、第二版の改稿は1、2章を吉田が、4章を塚島が3章は誤字・誤植の訂正にとどめ植野が担当した。

本書が石油と石炭の化学および石油化学の概要を把握していただくのに多少でも役立つことができれば、著者一同幸いとするところである。

昭和59年9月1日

著者しるす

目 次

第1章 石油と石炭の化学の展望

1.1 エネルギー源としての石油と石炭	1
1.1.1 エネルギー源	1
1.1.2 燃料の定義	3
1.1.3 わが国の1次エネルギー供給見通し	4
1.2 石油化学と石炭化学	4
1.2.1 石油化学	4
1.2.2 石炭化学	5

第2章 石油の化学

2.1 石油と石油精製	6
2.1.1 石油の根源	6
2.1.2 石油の表面徴候	6
2.1.3 石油採取法	7
2.1.4 石油の成分	8
2.1.5 炭化水素の構造	10
2.1.6 石油の性質	14
2.1.7 炭化水素の分析	15
2.1.8 石油の成分	22
2.1.9 原油の分類および特徴	24
2.1.10 原油の脱水	26
2.1.11 製油の大要	29
2.1.12 炭化水素の遊離（自由）エネルギー	31
2.1.13 炭化水素のクラッキング反応	33
2.1.14 分 解 法	35
2.1.15 熱 分 解 法	36
2.1.16 接触分解法	36
2.1.17 水素化分解および水素化脱硫	39
2.1.18 改 質 法	40
2.1.19 異 性 化 法	42
2.1.20 芳香族炭化水素の分離法	43

目 次

2.1.21 重 合	44
2.1.22 石油の精製	45
2.1.23 天然ガソリン	51
2.1.24 液化石油ガス	52
2.1.25 石炭と石油の相違	53
2.1.26 石炭水素添加法	53
2.1.27 石油合成法	54
2.2 石油製品	54
2.2.1 石油製品の分類と製品規格ならびに試験法	54
2.2.2 ガソリン	55
2.2.3 ナフサ	64
2.2.4 灯 油	65
2.2.5 ジェット燃料	66
2.2.6 軽 油	68
2.2.7 重 油	71
2.2.8 潤 滑 油	74
2.2.9 絶 縁 油	86
2.2.10 パラフィンおよびペトロラタム	86
2.2.11 アスファルト	87
2.2.12 グリースおよびコンパウンド	88

第3章 石油化学

3.1 石油化学における単位反応	90
3.2 酸 化	90
3.2.1 酸化反応の機構	98
3.2.2 気相酸化	99
3.2.3 液相酸化	101
3.2.4 アンモキシデーション	107
3.3 オキシ反応	110
3.3.1 触 媒	110
3.3.2 オキシ反応機構	111
3.3.3 諸因子の影響	112
3.3.4 オキシ法の工業	113

3.3. 5 オキシ類似反応	115
3.4 水 和	116
3.4. 1 反応機構	116
3.4. 2 オレフィンの水和	117
3.4. 3 アセチレンの水和	118
3.4. 4 酸化オレフィンの水和	119
3.5 アルキル化	119
3.5. 1 反応機構と触媒	119
3.5. 2 芳香族化合物のアルキル化	121
3.6 ハロゲン化	123
3.6. 1 ハロゲン化反応の機構	123
3.6. 2 ハロゲン化の方法および触媒	124
3.6. 3 脂肪族炭化水素の塩素化	125
3.7 スルホン化	128
3.7. 1 反応機構	128
3.7. 2 芳香族化合物のスルホン化	129
3.8 重 合	129
3.8. 1 不飽和炭化水素の重合	129
3.8. 2 テロメリゼーション	135

第4章 石炭の化学と石炭化学

4.1 石炭の構造など	138
4.1. 1 はじめに	138
4.1. 2 石炭の分類	138
4.1. 3 石炭の化学構造	138
4.1. 4 石炭の中に含まれる官能基	140
4.1. 5 石炭の赤外線吸収スペクトル分析	141
4.1. 6 石炭の高分解能核磁気共鳴吸収スペクトル分析	141
4.1. 7 密度法による石炭の構造解析	147
4.1. 8 石炭のX線回折	148

目 次

4.2 石炭の分析, 試験法	150
4.2.1 試料採取と試料調整法	150
4.2.2 工業分析	152
4.2.3 元素分析	153
4.2.4 発熱量	154
4.2.5 測定値の表わし方とベース換算法	155
4.3 燃料ガスなどの分析, 試験法	159
4.3.1 燃料ガスのヘンベル式分析	159
4.3.2 燃料ガスの特殊成分	162
4.3.3 燃料ガスのユンカース式発熱量測定	163
4.3.4 燃料ガスの比重測定	163
4.3.5 天然ガスのガスクロマトグラフ分析	163
4.4 石炭の熱分解	167
4.4.1 石炭の乾留	167
4.4.2 乾留ガス用途	178
4.4.3 タール製品	178
4.4.4 コークスの試験法	182
4.5 石炭のガス化	183
4.5.1 石炭ガス化の基本反応	184
4.5.2 石炭ガス化の製造プロセス	185
4.5.3 完全ガス化法	185
4.5.4 水素化分解法	187
4.5.5 接 触 法	188
4.5.6 C_1 ガス化学	190
4.5.7 高, 中, 低カロリーガス	190
4.6 石炭の液化	190
4.6.1 直接液化法	195
4.6.2 溶剤処理液化法	198
4.6.3 乾 留 法	203
4.6.4 ガス化合成法	204

4.7 石炭の酸化	206
4.7.1 酸性媒体中での酸化	206
4.7.2 アルカリ媒体中での酸化	209
4.7.3 芳香族カルボン酸の用途	212
4.7.4 フミン酸	212
4.7.5 石炭の風化と自然発火	213
4.8 石炭の溶剤処理	215
4.8.1 工業的応用	217
4.9 石炭の炭素化	218
4.9.1 炭素材	218
4.9.2 活性炭	220
4.9.3 炭素繊維	220
索引	227

第1章 石油と石炭の化学の展望

1.1 エネルギー源としての石油と石炭

1.1.1 エネルギー源^{1), 1.1)}

燃料はわれわれ人類にとって欠くべからざるもので、各種の産業、特に工業において直接熱源とし、また動力源として重要なものである。エネルギー源には太陽に多少とも依存しているものと、そうでないものがある。前者には太陽熱そのものと、その熱エネルギーの蓄積とも考えられる石油、石炭類とがあり、後者には地熱、潮力、核燃料、燃料に関係のない反応熱などがある。わが国のエネルギー需給の見通しは省エネに努力しても増大し、石油の量は変わらないが率は低下し、石炭、原子力、天然ガス、水力の順になる。

A. 太陽エネルギー

太陽エネルギーは莫大で、Eddington²⁾氏によれば太陽の中心温度 $4 \times 10^7 \text{K}$ 、表面温度約 $6 \times 10^3 \text{K}$ 、毎秒太陽全面から放射される放射エネルギー $3.8 \times 10^{33} \text{erg}$ である。太陽から地球に注がれるエネルギーは大気圏外で $1.94 \text{ cal/min/cm}^2$ すなわち $1.35 \text{ kW/m}^2/\text{hr}$ で、その約 35% が大気層を通過する間に反射、吸収によって失われる。東京付近で南に 30° 傾斜した面を受熱面とすると、1年を通じ1日に到達する日射量はほぼ等しく、 $5,000 \sim 6,000 \text{ kcal/m}^2/\text{day}$ である³⁾。日本全土年間太陽エネルギー量は石油換算約 450 億 kl である^{1.1)}。

B. 原子エネルギー

化学反応による燃焼⁴⁾の際発生するエネルギーは、燃料と酸素とが互いに化合して水と炭酸ガスになるとき、燃焼前の分子と燃焼によってできた新しい分子との間に原子価電子の位置のエネルギーに相異があるため、その差が熱となって現われるものである。ところが原子エネルギーは Einstein 氏の導いた式 $E=mc^2$ (ただし m : 質量, C : 光速) によって計算すると光速 $C=3 \times 10^{10} \text{ cm sec}^{-1}$ であるから、 1 g の質量に相当するエネルギーは実に $9 \times 10^{20} \text{ erg}$ 、すなわち、およそ $2.1 \times 10^{18} \text{ cal}$ の莫大な量となる。通常の化学反応における燃焼熱が、燃料のうちで最も発熱量の大きい重油ですら 10^4 cal をやや上回る程度である。かように莫大な太陽エネルギーは、単なる化学反応による分子エネルギー

1) 燃料協会：燃協誌，61，428 (1982)。

2) Eddington (1882~1944) イギリスの天文学者，1914 年以来 Cambridge 天文台長となる。天文観測のほか，相対性理論および宇宙論，量子論，天文放射などに関する理論的研究により英国学界に重きをなした。

3) 久田太郎：化学と工業，9，11 (1956)。

4) 広義の燃焼には，塩素と水素の化合する場合のごとき広義の酸化も含まれる。

第1章 石油と石炭の化学の展望

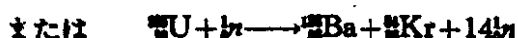
ーではなく、4個の陽子が結合して1個のヘリウム原子になる核融合反応によるもので、毎秒6億5,700万tもの水素を6億5,300万tものヘリウムに変え、失われた400万tもの質量がエネルギーとなっている。太陽熱の発生原理が、もし普通の燃料の燃えるときと同じであったならば、地球上に人類の出現をまたずして冷たい太陽、すなわち生物の生存を許さない死の地球になってしまっていたことであろう。

原子力発電は昭和48年230万kW、55年1,570万kW実績となっており、65年4,600万kW、75年9,000万kWの需給見通しになっている。なお石炭液化などの新燃料油、太陽熱利用の新エネルギーへの依存度も55年0.2%から65年2.5%、75年8%と第5位のエネルギーになる。

C. 核分裂エネルギーの利用^{1,1)}

天然に存在するウラン（天然ウラン）中には核分裂を起こし、燃料となるウラン235は0.7%しか含まれておらず、残りは熱中性子（中性子を効果的に減速剤で減速して反応を起こり易くしたもの）によって核分裂を起こさないウラン238である。ガス拡散法などの方法でウラン235を濃縮して燃料とする。

核分裂エネルギーはウラン、プルトニウム等の重い原子核に、中性子が衝突する際、原子核が分裂すると同時に発生するエネルギーである。（在来型炉）



燃料の転換にはウラン238をプルトニウム239へ転換するものと、トリウム232をウラン233に転換するものがある。（転換炉）

原子炉内で核分裂に消費される原子核の数より、新たに生産される核分裂性原子核の数が多いような原子炉を増殖炉という。増殖反応には天然ウラン中のウラン238を親物質とし、これに中性子を吸収させることにより核分裂性のプルトニウム239に転換するものである。またトリウム232（天然トリウム100%）に中性子を吸収させることにより、核分裂性のウラン233に転換するものである。

D. 核融合エネルギーの利用^{1,1)}

核融合エネルギーは、重水素、三重水素等軽い元素の原子核の融合反応を利用するもので、反応を持続させるためには、1億度程度の超高温が必要であり、地上では水素爆弾以外の形では成功していない。核融合反応には重水素・三重水素反応（D-T反応）と、重水素・重水素反応（D-D反応）の2種が考えられるが、前者の方が早期に実用化される可能性が大きい。三重水素は、天然には存在しないが、リチウムと中性子との反応により生産する。リチウムは地下資源のほか、海水中にはウランの数十億倍存在しているといわれ、事実上無限である。

1) 斉藤進六：化学と工業、13、1086（1960）；山本賢二：燃協誌、38、29（1959）；化学大辞典、7、昭36、共立出版

E. 世界のエネルギー源の分類¹⁾ (1.1)

エネルギー源を大別すると、次に示すごとく地中に埋蔵されているものと、循環使用のできるものとなる。1985年における利用可能予想量は石油換算で、太陽エネルギー 100 万 kJ、水力 2,700 万 kJ、地熱 170~500 万 kJ である。

埋蔵資源	石炭	21 Q (約 5,900 億 t, 石油換算 3,500 億 kJ)
	石油	5 Q (約 2,700 億 t), 天然ガス (石油換算約 490 億 kJ)
	オイルシェール	1.2 Q
	ウラン	500~1,000 Q (1 kg 40 ドル以下約 190 万 t), トリウム (約 80 万 t)
	重水素	(海水中 1,240 兆 t), リチウム (海水中も含め 2,300 億 t)
循環資源 (今後 100 年に利用 できる量)	薪 炭	2.4 Q
	水力, 風力	0.7 Q
	太陽	5 Q

ただし、 $1\text{ Q}=10^{18}\text{ Btu}$, $1\text{ Btu}=0.252\text{ kcal}$, 5000 kcal/kg の石炭 500 億 t 余のもつ熱量。また Q の値と石油換算量とは出典が異なるので一致しない。

1.1.2 燃料の定義

燃料 (fuel) とは空気 (実は酸素) と化合して燃焼し多量の熱を発生するもので、かつ、その燃焼熱を経済上有利に利用できるものの総称であるが、さらに次のような条件を具備するものでなければならない。

- 1) 隨時容易に、しかも豊富に供給できること
- 2) 使用法が簡便で、価格は低廉であること
- 3) 運搬、貯蔵が簡単であること

したがって、これらの条件を満たすため、燃料が産出したままの状態で使用されることは少なく、精選、加工、精製、分留、乾留、ガス化といった操作を経て使用に供することが多い。このように、天然燃料を原料としてさらに価値ある人工燃料を生産する工業を、燃料工業 (fuel industry) という。

しかし、硫黄、リンなどは、たとえ豊富であっても有毒または危険なものであるから、燃料としては不適當であるが、一方、住宅、玩具、書籍などは、それ自身、本来の使命を全うしうる形態を保っている間は、これを燃焼するのは不経済で、燃料というわけにはいかないが、破壊、汚損などにより使用にたえなくなったものは、これを燃焼することによってはじめて熱源としての価値を生ずるので、燃料とよぶことができよう。

燃焼という現象は人類の行なった最初のしかも密接な化学反応であるが、決して簡単な反応ではない。たとえばガソリンが燃焼して水と炭酸ガスを生成するように、一見、比較的単純にみえる反応でも、後述すごとく複雑な過程を経て反応が完結するものなのである。内燃機用ガソリンに負の触媒として四エチル鉛が混入されているのは、燃焼反応の連

1) 松下市松：熱管理, 8 (No. 5), 7 (1956)

鎖を適当に断ち切るによりノッキングにおける異常燃焼を防止するのが目的である。

1.1.3 わが国の1次エネルギー供給見通し^{1), 2)}

図1.1に示すようにわが国の1次エネルギー供給の見通しは昭和57年度、65年度、70年度、75年度を比較すると、石油に依存する絶対量はあまり変化しないが、相対比は総供給絶対量の増加の影響で相対比としてはかなり低下し、石炭・原子力・天然ガスの依存度は増大する。

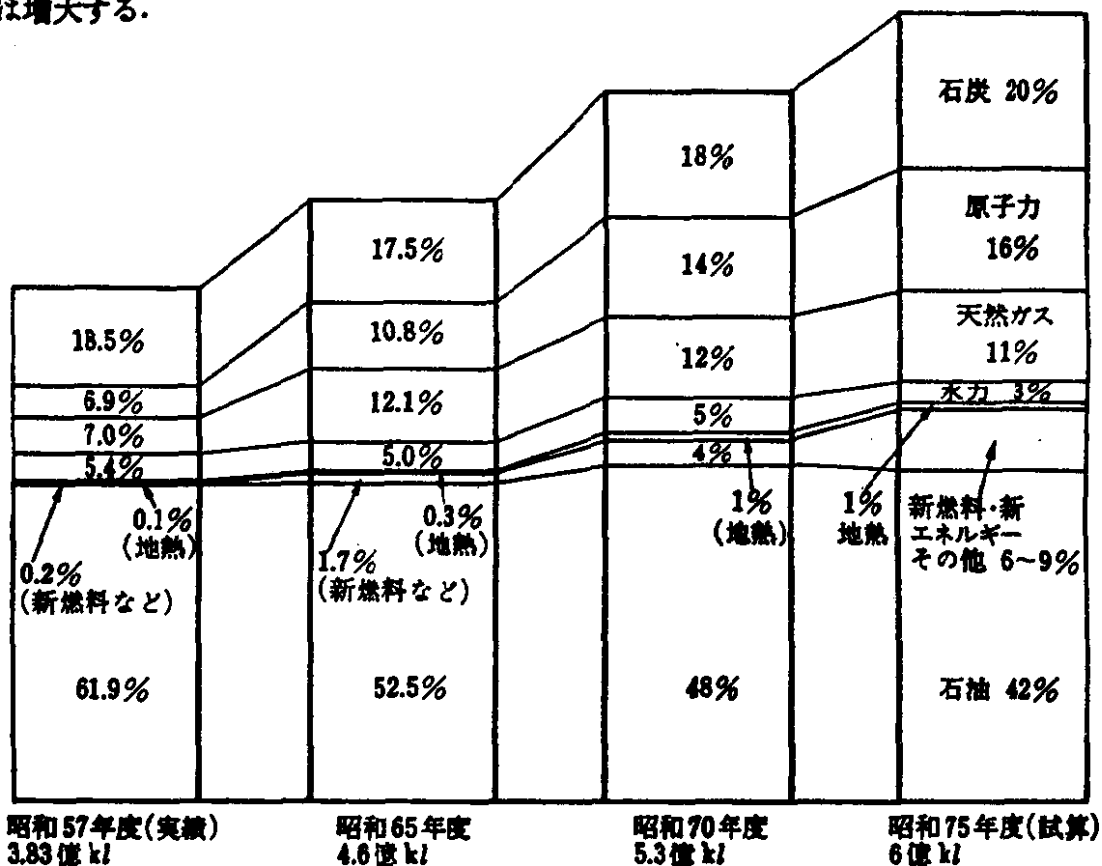


図 1.1 わが国の1次エネルギー供給の見通し (総合エネルギー調査会 58.11)

1.2 石油化学と石炭化学

1.2.1 石油化学^{1), 1.2, 1.3, 1.4, 1.5)}

石油および天然ガスを原料として、従来の石油製品以外の製品の製造を目的とした合成化学が石油化学である。重油の熱分解による副生ガスを硫酸に吸収させ、加水分解してイソプロピルアルコールを製造したのが最初とされている(1920年, Standard Oil Co.)

従来、有機合成といえば、コールタール(石炭化学製品, coal chemicals)を原料とする染料、医薬品その他の薬剤、水性ガスを原料としたメタノール、ホルマリン、またアセ

1) 総合エネルギー調査会報告(4月)(1982)

2) 同, 見直し(11月)(1983)

チレンガスを原料とした酢酸、塩化ビニルなどに対し、合成基礎原料として石油および天然ガスを用いるもので、非常に重要な位置を占めるに至った。この製品を石油化学製品（petro-chemicals）という。

石油化学は有用な合成基礎原料が豊富で安価に得られる点がきわめて好都合である。たとえば水素は電解法、石炭またはコークスを原料とする水性ガス、石炭ガスの深冷分離（冷却して水素ガスのみを気体として残し、残りを液化分離して水素ガスを得る方法）による方法のいずれよりも低廉に得られる。石油化学製品の中間原料としてエチレン、プロピレンなどのオレフィン類、カーバイトを使用しない石油からのアセチレン、合成ゴムの原料として欠くことのできないブタジエンなどのオレフィン類、ナフテン族炭化水素の脱水素によるとか、鎖状炭化水素の環化による芳香族炭化水素などがある。これらの新しい原料を使用して、高分子製品である合成ゴム、合成繊維（ナイロン、ポリエステル繊維、アクリル繊維）、合成プラスチック（塩化ビニル、ポリエチレン、ポリプロピレン）などが製造されている。また合成洗剤としてアルキルベンゼンスルホン酸塩とか非イオン活性剤など、今後どこまで発展するか予測も困難なほどである。炭化水素から発酵法により石油タンパクを製造する方法の開発など興味深いものが、近時さらに出現している。

石油化学工業は昭和 33 年当時を基準とすると、過去 12 年間に 100 倍の生産規模となり、世界第 2 位の水準に達した。化学工業に占める割合はきわめて大きく、昭和 48 年 36.0% で、米国では 70%（昭和 45 年）を超えている。

1.2.2 石炭化学

石炭の歴史はきわめて古い。また石炭化学製品の中心をなしていた芳香族炭化水素は石油からも多量に供給されるようになり、この原料面における大きな境界は取り除かれてしまった。しかし化学原料としての石炭も最近見直されるようになってきた。石油資源の開発が非常に進歩しているにもかかわらず、その需要の急激なる増加は、可採年数（R/F）が 1965 年 31.7 が 1970 年 37.2 に上昇したにとどまっている。石炭の可採年数はこれより 1 桁大きいとされているので、石炭が近い将来必ずや見直される日も遠くないのではあるまいか。

引用ならびに参考文献

（文中右肩の数字は引用文献の番号を示す）

- 1.1) 科学技術会議、エネルギー科学技術会議：エネルギー研究開発の長期目標、大蔵省印刷局（1975）
- 1.2) 森田義郎、吉富末彦：石油化学とその工業（改著）、昭晃堂（1981）
- 1.3) 向坊隆他：選択・エネルギーを考える、三修社（1981）
- 1.4) 通商産業省編：エネルギー '81、電力新報社（1981）
- 1.5) 重化学工業通信社：日本の石油化学工業、重化学工業社（1974）

第2章 石油の化学

2.1 石油と石油精製

2.1.1 石油の起源¹⁾

石油の起源と成因に関しては定説がなく、数多くの諸説があるが、だいたい無機起源説 (inorganic original theory) と有機起源説 (organic o. t.) に大別することができる。前者にはカーバイドを成因とする説、すなわち地球の深部において炭酸塩または炭酸ガスとアルカリ金属とからカーバイドを生じ、これが水と作用して発生するアセチレンが根源であるとするカーバイド成因説 (carbide o. t.) や、火山成因説 (volcanic o. t.)、宇宙成因説 (cosmic o. t.) などがある。後者に属するものとしては植物成因説 (plant o. t.)、動物成因説 (animal o. t.)、動植物成因説 (both animal & plant o. t.) および腐泥成因説 (sapropelite o. t.) などがある。

以上の説のうち最近は無機起源説は支持されていない。一般に認められていることは、石油は海の堆積層中に沈殿した海生生物（プランクトン特に植物プランクトン）に由来するという点である。脂質が原物質の主体をなしたと考えられる。有機物から石油を生ぜさせた営力は、第1次には嫌気性バクテリアの生化学的活動で、第2次営力は100℃を超えない程度の持続的な熱の作用と考えられる。

しかしながら千葉県におけるごとく、鹹水や天然ガスのみで、石油を産出しない所もあり、また石油の埋蔵量から推定されるような莫大な数量の動物、植物が、いかなる理由で一カ所に集積されたかという点については、いまだ明確な説明が与えられていない。

2.1.2 石油の表面徴候 (Surface Indication of Petroleum)

石油鉱床の存在を予期させるような物質ならびに事実をいう。

A. 直接表面徴候 (Direct Surface Indication)

石油露面 (oil seepage)、アスファルト (asphalt)、天然ガス (natural gas, 湿性) などの産出

B. 間接表面徴候 (Indirect Surface Indication)

石油の噴出によってできた泥火山 (mud volcano) の存在、鹹水の湧出、特に地質構造が図 2.1 のごとき背斜構造 (世界油田の油層の 90% を占める)、単斜構造 (背斜構造の

1) 三土知芳：石油誌，8，2 (1965)

ように地層が山形になっておらず単に同一方向に傾斜しているもので、その一端が断層封塞されておればここへ油が蓄積する)のように、石油を保持するに便な構造の存在とか、岩塩ドーム(背斜軸がいたって短く地層が盛り上がった構造で特に岩塩の円柱のあるもの)の存在といったごときものである。これらの存在を地表から物理的方法すなわちトーションバランスで、地



図 2.1 背斜構造

中の密度分布の大である背斜構造のところや岩塩柱を発見して岩塩ドームを発見する。また地下の磁性をもつ地層(火成岩>(深成岩, 変成岩)>石油を含む水成岩, 一般に地下密度の高いほうが大)の分布に従って、地上で測定する磁力の値が一様でないことを利用する磁力探鉱法とか、炭化水素、水素および石ロウの微量検出による地球化学探鉱法もある。

最後に、人工地震と地震計によってその振動が地下に屈折、反射することから、地下の構造を推定して油田の発見の手がかりとする方法は、現在最も普通に行なわれている。

2.1.3 石油採取法¹⁾

試すい、試掘によって石油鉱床の広がりと大きさが明らかにされると、掘さくに着手する。現在広く行なわれている掘さく法はロータリー式で、掘管の先にカッターと泥水の噴出口のついているビットを取り付け、これを回転しながら地層を削る。掘管の中を通ってきた泥水によって掘屑を地表まで運ぶとともに、ビットの冷却、泥壁形成による崩壊防止、地層流体圧力の抑圧の役目をさせる。絶えず泥水検層と電気検層とを行ない、予定の深度まで掘さくし、油井の崩壊を防止するため坑いっぱいの鉄管(ケーシングという)を入れ、底まで鉄管の外側をセメントで固める。油層のところは弾丸穿孔機で穴をあけ、泥水を水に取り替えると、油やガスが自噴するようになる。また自噴しないときはガスリフトまたはポンプによって吸い上げる。この1次回収では油層中の石油の20% ぐらいしか回収できないので、2次回収を行なう。

なお地上では10,000 mの深さまで、海洋掘さくは移動式プラットフォームを使用すれば海深180 m までは掘さくできる。

A. 水攻法

油井に水を圧入する水攻井と、採油井とに油井を分け、油層の中の油を水で押し出す。30~50% ぐらいまで回収が期待できる。

B. 火攻法

古い油井に限って行なわれる方法で、油層に残っている油を坑底で電熱またはガスで着火させ、その後は空気だけを送ると砂に付いていた油の粘度が温度の上昇で小さくなり、燃焼ガスや発生した水蒸気で水蒸気蒸留も行なわれ、軽質油が押し出され、先の油の粘度も小さくなって採油井へ送り込まれる。現段階で均一に油層を燃やすことが困難で採算が

1) 油井から自噴ないしポンプ採油に至る従来の採油法を1次回収法といい、さらにガスとか水を油層に圧入して採油量を増したり、坑油道を掘って重力排油を助長する方法を2次回収法という。

第2章 石油の化学

とれるに至っていないが、本法が完成すれば現在の約3倍の採油量が期待される。

C. LPG 圧入法

大量の LPG を油層に圧入する方法で、油層の油の粘度を小さくして押し出す方法である。天然ガスの豊富なアメリカで行なわれ、成功すると100%に近い回収率が得られる。

D. ガス 圧入法

油層に油井から発生したガスを再圧入するもので、効果が大きい。

E. 酸処理、フラクチャリング（油圧破砕法）

酸処理は塩酸のような酸で油井を洗い、かすを除いて油やガスが出やすくする方法で、広く行なわれる。フラクチャリングは強力なポンプで粒のそろった砂を混ぜた高粘度の油を、高い圧力で油井に押し込み、油層深く油の通り道をつくるもので、産油量が2倍ぐらいになる。

2.1.4 石油の成分

原油は各族、各級に属する炭化水素 (hydrocarbon) の複雑な混合物を主成分とし、これに酸素、窒素および硫黄などの化合物を多少含んでいる。

その元素組成の範囲は次のごとくである。

C : 82.2~87.1%, H : 11.7~14.7%, O : 0.1~4.5%,

N : 0.1~1.5%, S : 0.1~5.6%

炭化水素を有機化合物の化学構造の上から分類すると次のごとくである。

A. 鎖状化合物 (Chain Compounds) (脂肪族炭化水素, Aliphatic Hydrocarbons)

1) 飽和炭化水素 (saturated hydrocarbons) (一名メタン系炭化水素)→¹⁾パラフィン族炭化水素 (paraffin hydrocarbons) 一般式 C_nH_{2n+2}

さらに細別すると $\begin{cases} \text{正パラフィン族炭化水素 (n-paraffins)} \\ \text{イソパラフィン族炭化水素 (iso-paraffins)} \end{cases}$

2) 不飽和炭化水素 (unsaturated hydrocarbons)

a) エチレン列炭化水素 (ethylene hydrocarbons)→オレフィン族炭化水素 (olefin hydrocarbons): 一般式 C_nH_{2n}

b) アセチレン列炭化水素 (acetylene hydrocarbons)→アセチレン族炭化水素: 一般式 C_nH_{2n-2} (三重結合1個)

c) ジオレフィン族炭化水素 (diolefin hydrocarbons): 一般式 C_nH_{2n-2} (二重結合2個)

B. 環状化合物 (Cyclic Compounds)

1) 炭素環状化合物 (carbocyclic compounds)

a) 芳香族化合物 (aromatic compounds)→芳香族炭化水素 (aromatic hydrocarbons, benzene series hydrocarbons): 一般式 C_nH_{2n-6} (二重結合3個, 環状)

1) →₁ の名称は石油工業方面で主として使用されている。

- b) i) ポリメチレン誘導体¹⁾(polymethylene derivatives): 一般式 C_nH_{2n} }
 ii) ヒドロ芳香族化合物 (hydroaromatic compounds): 一般式 C_nH_{2n} } →

ナフテン族炭化水素 (naphthene hydrocarbons) (一名シクロパラフィン, cycloparaffins)

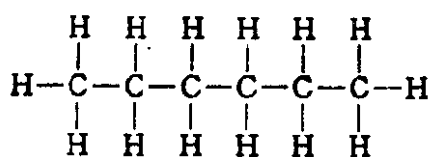
c) ポリナフテン族炭化水素 (polynaphthenes): ナフテン族炭化水素に包含さるべきものであるが、ナフテン環2個以上のものを特にこのように命名することがある (たとえば dicyclic, tricyclic etc.)

d) シクロオレフィン族炭化水素 (cycloolefin hydrocarbons): ナフテン族炭化水素の構造中に1個の二重結合を有するものをいう。

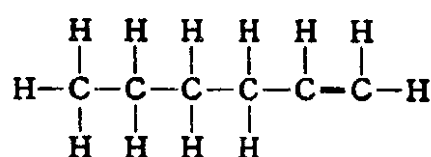
e) テルペン類 (terpens)

2) 異種環状化合物 (hetero cyclic compounds) 炭素のほかに N, O, S の原子を混じえて環をつくっているもので、後述するごとく原油中の不純成分を形成する。

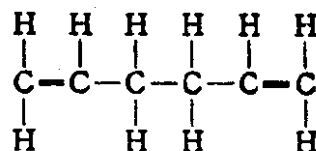
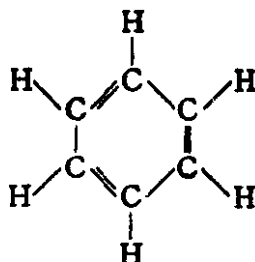
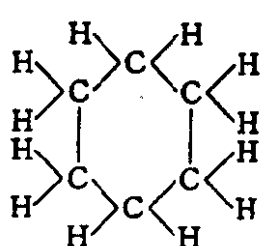
表 2.1 は各族炭化水素命名法表で、図 2.2 は炭素数6個の場合の構造式である。



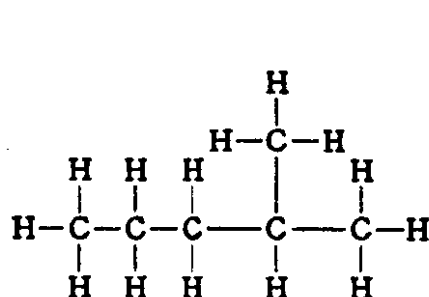
(a) *n*-ヘキサン C_6H_{14}



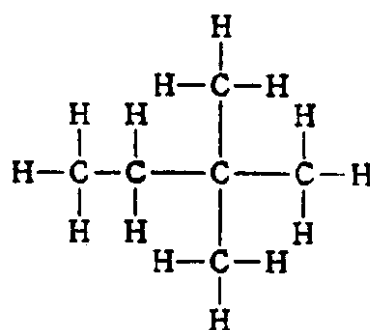
(b) 1-ヘキセン C_6H_{12}



(c) シクロヘキサン C_6H_{12} (d) ベンゼン C_6H_6 (e) 1,5-ヘキサジエン C_6H_{10}



2-メチルペンタン C_6H_{14}



2,2-ジメチルブタン C_6H_{14}

(f) イソパラフィン類の例 (isomeric isoparaffin compounds)

図 2.2 炭素数6個の炭化水素の構造例

2) 広義には b) ii) を含む。