

# 化 學 工 業 と 電 力

菊 池 眞 一

## は し が き

日本ではないものづくしであるなかに、充分あるといつてよいのは人間と空気と水とそれに石灰石である。この乏しい資源でどうして 8,000 万人の人口を養い得るであろうか。これに対する答はあまり多くない。水力電気を起し石灰と石灰石をもつてカーバイトをつくり、これからピニロンなどの合成繊維、その他の有機薬品をつくり、また石灰窒素肥料として食糧を増産する。空気からは窒素を分離し、水を電気分解して得た水素とともにアンモニアを合成し、硫酸と化合させて硫酸をつくり、これも肥料にする。ざつとこんな所を誰しも考えることだろう。

## 日本の電力と分布

日本の電力は日本の持つているエネルギーの中では誇るに足る資源であつて、アメリカ、ソ連、ドイツ、カナダなどについていると思われる。まず日本の発電量は第

第 1 表 日本の発電量 (単位 10<sup>6</sup>kWh)

年 次	発電量	年 次	発電量
昭和 12 年 1937	27,179	昭和 19 年 1944	33,100
13 1938	29,349	20 1945	21,000
14 1939	29,896	21 1946	28,149
15 1940	31,510	22 1947	30,365
16 1941	33,969	23 1948	32,208
17 1942	33,719	24 1949	39,907
18 1943	34,835	25 1950	44,890
		26 1951	47,729

1 表のように戦後一時低下した状態を脱して戦時中の最大発電量を 3 割近く上も廻つてゐる頼もしい状況である。

しかもなお日本の水力は今後開発の餘地が多いのである。既開発 650 萬 kW に對し推定包蔵水力は 1,970 萬 kW におよぶので現発電量の約 2 倍を新に開發することが出来る。電力 300 億 kWh のエネルギーは石炭 4,000 萬 t に匹敵するというから、わが國の石炭年産 4,000 萬 t に比して非常に有望であることがわかる。しかし完全な手離しに喜ぶ

ことができないのは、既開發電力に比して未開發電力は建設費が高くついて得られる電力が割高になることである。

この電気を水力および火力による割合と電気事業用および自家用との比について示すとつぎの第 2 表の通りである。

第 2 表 わが國電力の火力および水力電気

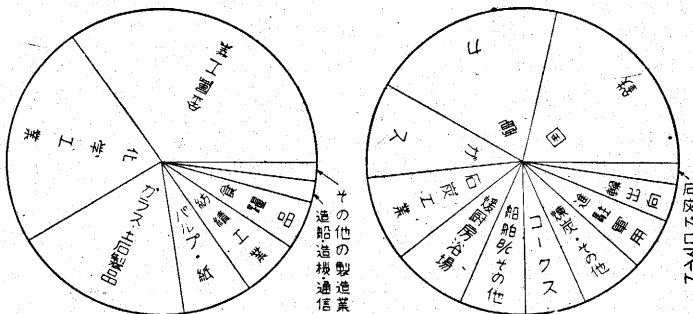
年 次	事業用および自家用の比 (単位 10 <sup>6</sup> kWh)					
	電気事業用			自家用		
	水力	火力	計	水力	火力	計
昭和 24 年 (1949)	32,778	3,464	36,242	3,027	1,707	4,734
25 (1950)	34,870	4,253	39,123	3,388	2,379	5,767
26 (1951)	34,002	7,432	41,434	3,524	2,771	6,295

すなわち火力発電は季節によつて變化し、渇水期にはその依存性が大きくなるものであるが平均して、水力の 1 割から 1 割 5 分を占めてゐると考えてよい。

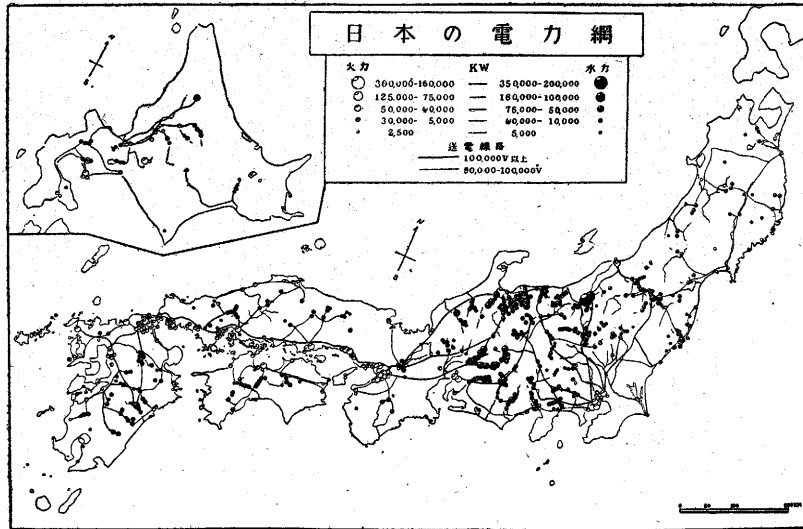
いまこれらの電気が日本にいかにか分布してゐるかはつぎの第 2 圖から明瞭である。

圖からわかるように水力発電所は福島縣の猪苗代湖およびその附近。信濃川流域、富山縣、上越、木曾川流域など主として本州中部に集まつてゐる。これに對して火力発電所は東京横濱地方、阪神地方、北九州地方、三池附近などで前二者は大都會の中心、後二者は炭田および工業中心地にある。

電源地である猪苗代方面、上越方面から京濱地方、富山方面から阪神地方などには電力輸送幹線が通つてい



産業用 非産業用  
第 1 圖 産業別石炭荷渡実績割當 (1951 年上半期)



第2図 日本の電力網

る。たとえば北陸地方は 90 萬 kW の電力の中で 60 萬 kW を關西に送っている。最近この送電線は送電損失を少なくするため世界第二の高壓 27.5 萬 V にて敷設中であるという。

化学工業の電力使用量

電燈、電気鐵道などは電氣を澤山使用するように思われるが、実際には化学工業こそ最も多量に電力を使用する工業である。1937 年における世界各國の電氣化学および電氣冶金工業の電力使用率を見るときぎの第3表の通りである。各業種別石炭使用割合は第1圖にしめす。

第3表 各國の電氣化学および電氣冶金工業の電力使用割合

國名	米國	ドイツ	カナダ	日本	フランス	イタリー
發電量 10% kWh	140.2	28.9	27.6	27.1	16.6	11.6
電氣化学および冶金工業 使用量	13.3	5.9	2.7	6.2	2.2	3.0
同上比率 %	9.5	20.4	9.8	22.3	13.5	25.5
年次	1936	1936	1937	1936	1936	1936

第4表 わが國における電力使用分布 (昭和 25 年 1~3 月)

部門	比率	部門	比率
電燈用	24.5%	窯業用	0.9%
小口電力	20.0	電氣鐵道	5.8
化学工業	15.7	金屬工業	6.1
硫安	5.6	檀用	8.4
カーバイドおよび石灰窒素	3.4		

この表はやや古いから最近における日本の統計を見ると第4表の通りである。

この表によれば硫安、カーバイド、窯業、などを化学工業の中に入れては當然として金属工業も合せると約 31% におよび、他の大口消費に比べてはなはだ多く消費することがわかる。戦前は電燈用がわずか 7~8% であつたから、最近の 25% はいちじるしい高率と云わねばならない。檀用とは盗電

や、種々の損失が含まれていてこの項の多いことは憂うべき現象であろう。

このように化学工業は電力を多量に使うばかりでなく、多くの場合その使用量は晝夜を通して變化が少い。たとえばカーバイド用の爐のようなものは、夜でも電氣を消して温度を低下させることはいちじるしい損失になる。ストライキ中であつても時々電力を切るが、おおむね保持用電力はこれを残して爐の火を落さぬようにするのはこのためである。化学工業が多量に電氣を使用する例としては北陸の電力中 30 萬 kW を同地方において使用することを先にのべたが、魚津の日本カーバイドと富山の日産化学の二社でおおむね 10 萬 kW とこの三分の一を消費するのをもつて知れよう。またアルミニウムの製造はなかならず電力を消費する工業であつて、アルミニウム 1t 當り 2 萬 kWh の電力を要するといわれる。もし年に 10 萬 t のアルミニウムをつくとすれば (これは戦争中最も多量につくつた時の割合である。) 2×10% kWh の電氣を要し、これのみで日本の總電力の 5% を必要とする。

日本の電氣は豊水期と渇水期、また一日の中のピークのはなはだしいことが特徴であつて、この特徴は以上の理由から化学工業にとつてはなはだ不都合である。化学工業は安價な電力を常に一定に多量に必要とするのに、最近の事情はこれを許さず渇水期には電力のためだけで操業を半分にも落さねばならない状態にある。従つて化学工場は常に他に煩わされることのない電力を得るために水力發電所または火力發電所を同社で建設することが多かつたが、戦争以來電力が統制になつてこの秩序が崩壊してしまつた。しかし最近また化学工業のために自家發電所を建設する傾向が生じている。

化學工業の種類と電力使用の程度

化學工業はさきに述べたように電力をはなはだ多量に使用する工業であるが、その使用状況にもいろいろな程度がある。これをその程度に従つて分類すると、

1. 化學反應のエネルギーとして電氣を使うもの。最も多量の電力を使用し、多くは直流を使用する。例、アルミニウム 21,000 kWh/1t Al, 硫安 (水の電解), 電解ソーダ 3,000 kWh/1t NaOH

2. 高温を保持するエネルギーとして使用し、多く交流を使う。例、カーバイド 3,100 kWh/1t カーバイド, 石灰窒素, 熔成苦土燐肥 1,000 kWh/1t 燐肥。

3. 液の蒸發に必要なエネルギーを供給する。たとえば戦後諸方でやつたように開放式で海水を濃縮すれば食鹽 1t 當り 20,000 kWh でも足りないが、最近では加壓式製鹽法などによつて 3,000 kWh 位にて足りるようになった。

4. 原料に電氣を濶山使用してあるもの。化學工業においては NaOH, や鹽素や、鹽酸を使用することははなはだ多い。たとえばビスコース人絹 100 lbs 當り NaOH (97%) 87 lbs を使用するが、これにはさきにのべたように多量の電力を必要とする。

5. 機械的エネルギーを電力にて供給するもの。この場合は比較的電力を使わない。攪拌, 搬送のためのモーター, 壓縮機, 空氣調節, 冷凍などに主として交流を使用する。

化學工業においてはもちろん電力のみが唯一の因子ではない。石炭, 輸送, 水, 勞働力, その他の原料, 市場への距離などが問題になるであろう。しかし電力の割合が大きい工業においては發電所の近くに工場をおくことが望ましいのはいうまでもないことで、電源地方から京濱または阪神地方までくる間には3割近くの送電損失があるということである。第3圖には日本の硫酸工場、

硫安工場, カーバイド工場などの位置を示したが、福島, 新潟地區, 富山地區, 京濱, 阪神, 北九州, 三池地方などに工場が集まつている状況は水力または火力發電所の所在地 (第2圖) とよく一致している。

化學工業においては電力が原料の一つになる場合が多いから、安價に得ることが必須條件で最近の値上げまでは kWh 當り 60 錢位の安價な電力であつた。しばらく前までは夜間の電力などはもつと安價に得られたが、最近はそのような便宜がなくなつたようである。

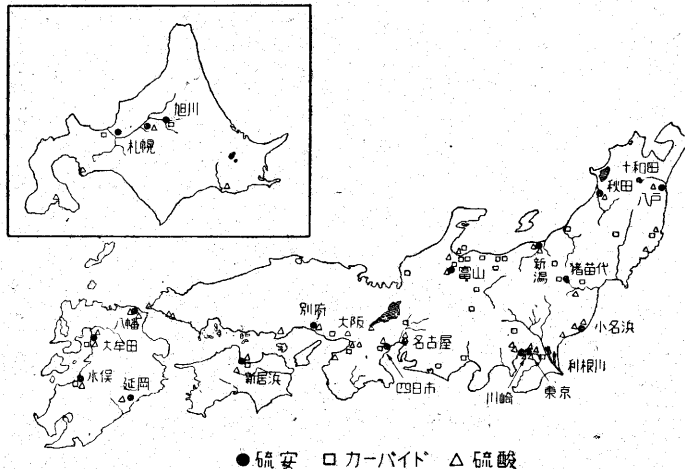
最近の化學工業の趨勢

戦後いづれの分野も同じことであるが一時全く方向を失い、多くの重化學工業は賠償の對象となり、空襲の痛手を蒙り、生産はものによつて 10 分の 1 にも低下してしまつた。電力も發電所の設備の低下からいちじるしく減つていたが、工業の衰微は更にはなはだしく、アルミニウムなどいちじるしく電力を消費する工業が全く停

第5表 わが國の人造肥料その他無機化合物生産高 (單位萬t)

品目名	過去における最高生産量	昭和 24 年	昭和 26 年
硫 安	120(昭和 16 年)	123	159
カーバイド	36(昭和 12 年)	42.7	48.5
石灰窒素	24( " )	34.9	39.2
過磷酸石灰 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 16%)	156( " )	116	150.5
硫酸(50°Bé)	384( " )	258	378.9
硝酸(98%)	5.6	3.3	5.7
鹽酸(35%)		8.7	15.9
ソーダ灰	23.4( " )	20.7	22.7
苛性ソーダ		14.6	33.4
尿 素			3.3
硝 安			2.9
熔性苦土燐肥			3.4

(昭和 25 年)



第4圖 日本の主要工場の分布

止した關係もあつて工業的需要に比してあまつていた。この頃家庭において電熱の利用が普及し、また沿岸地方にて自給製鹽が盛になり、3本の電極を樽に投入して加熱濃縮する方式が行われた。しかし、これはいかにも無計畫であつて輸入鹽が安價に入るようになると、全く捨たり、わずかに合理化して蒸氣加壓式で 3,000 kWh/1t NaCl 位の電力消費にとどめてようやく外鹽と太刀打ちできる程度で餘喘を保つている。専賣公社はこの方法で福島縣小名濱に相當規模の製鹽工場を建設する豫定である。

わが國は戦後まず肥料工業に主力をそそいで硫安, カーバイド, 石灰窒素などはいちじるしく復興した。硫安の原料である水素を得る

方法については水電解法と石炭法、の二つがあるが、場所によつて電力の安い地方では電解法、石炭の安い地方では石炭法をとつている。肥料の生産はかくして戦前に接近し、またはこれを上廻るようになった(第5表)。

アメリカにおける硫安の生産は1949年において108萬 lbs であつてわが国よりはるかに少いけれども、この国においては液體アンモニアを直接耕地に入れて肥料とするような大規模な方法をとつているから比較にならぬ。

わが国は火山国であるし硫黄の資源は比較的豊富であつたが、近年硫黄資源の一つの硫化鐵が低品位になりかつ不足してきた。世界各国もまた大小にかかわらず硫黄の不足に苦しんでいるので、硫酸を硫安や過磷酸石灰などに使用することがもつたないと考えられるようになった。一方日本ではこの数十年間に硫安を多く使つて土壌が酸性になつたので、これを避けるためにも石灰のような鹽基性のものを使用して中和するか、尿素を用いるか、硫酸を用いない肥料に替えるかということが問題になつてきた。これらの原因は第5表における尿素の量を増し、また鹽安(鹽化アンモニア) 硫安(硝酸アンモニア)などの肥料が次第に増す結果をよんだ。過磷酸石灰の代りに磷鐵石と蛇紋岩を電氣爐で燒成してつくる熔成苦土磷肥などが使われることになつたのもこの一つのあらわれであつて、この肥料はアメリカで1946年頃から、わが国では昭和24年位からはじまつたものであるが漸次増して行くようである。

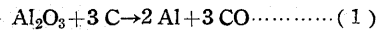
肥料について板ガラス、セメントなどに力をそそいでこれらも戦前の生産量に達した。これらについて人造纖維および合成纖維の製造が盛んになつてきた。後者はビニロン、アミラン、オーロンなどであつて、今後さらにいちじるしい進歩を見ることであろうが、これらは間接に電氣を使用する NaOH などを使うもので、直接には大きな電力を要しないものである。寫真工業なども空氣調節などに電力を要する程度で、比較的電力を要しない種類に屬している。

### アルミニウム工業

アルミニウム工業は最も電力の消費の多い工業であるから、アルミニウムを輸出するのは電力を輸出することになるといわれるほどである。アルミニウムの原料であるボーキサイドは蘭印、マレーの方から輸入するが、アルミニウム 1t 當りボーキサイド 5t を要し、この価格は約3萬圓である。このほか同じく Al 1t 當りボイラー用炭 10t、苛性ソーダ 0.75t、ガス用炭 1.5t、螢石 0.15t、電極 0.65t、これに電力約 21,000 kWh を要する。アルミニウム工業では電力は最重要原料であるからできる限り安價であることが望ましい。わが国のアルミニウム生産高は戦争中急激に増加し昭和18年には14.1萬tまでになり戦後全く低下していたが最近またもり返

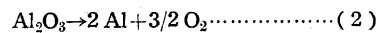
えし、4工場で昨年の生産高3萬tである。アメリカは戦後アルミニウムを減産していたが、昨年は一舉に150萬tに増産した。このようにアメリカの戦時體制と平時體制の變化に従つてそのアルミニウム生産量にいちじるしい差があるので、日本のアルミニウム工業も昨年不足であつたと思うと今年はたちまち過剰になつて困るというように影響をうけやすい。

アルミニウムの製造反應はつぎの通りである。



アルミナ (36) (54) (括弧内の數字は重量比である)

すなわちボーキサイドから不純物である  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  をのぞいてつくつたアルミナを原料として、これを電氣爐中で電極炭素によつて還元してアルミニウムを生じるものであるが、電極は式より示されるようにアルミナ 1t に對して 36) kg 位消耗するものである。この反應の遊離エネルギー變化を考えると

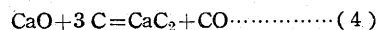


の二反應に分けられるが、前者は  $\Delta F_{298} = 152,000$  cal、後者は  $\Delta F = -97,500$  cal であつて差引 54,500 cal を電力によつて供給しなければならぬ。なおこの反應は熔融状態で行われるが 1,000°C 近く常に加熱しなければならないのでこのために消費する電力も大きい。アルミニウムの反應は(1)の通りであるがアルミナのみでは電導性が悪いので人造水晶石  $3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$  を少量加えるのが普通である。これはアルミナと共に混合物の融點を低下するのにも役立つものである。かくして(2)の分解電壓は可逆的に 2.2 V であるが實際爐の兩極には直流の 4.8 V 位を負荷している。

通常アルミニウム工場にては大電壓の交流を 750 V に低下し、水銀整流機にて直流に變じ、750 V を 130 爐位に直列につなぎ、電流は 32,000 A 位通過させる。日本輕金屬のように直流發電機を併用している所もある。

### カーバイドおよび石灰窒素

カーバイドおよび石灰窒素も電力を多量に使用する工業である。まずカーバイドについていえば、石灰石を燒いて生石灰をつくり、これを無煙炭、またはコークスと電氣爐中にて焙燒してカーバイドとするものであつてつぎの式の通りである。

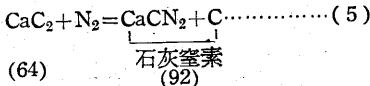


生石灰 無煙炭 カーバイド  
(56) (36) (64)

この反應における炭素は無煙炭で他から供給するのであるから、アルミニウムの場合とことなり電極は理論的にいえば消耗しないはずであるが、実際には 1t のカーバイド當り 30 kg 位消耗するといわれる。電氣爐の最高溫度は 2,500~2,600°C である。電爐は三相交流  $\Delta$  結線を普通とし、電極と熔融體の間にアークが飛んで加熱さ

れる爐の大きさは種々あつて 9,000 kVA 位が普通であるが 25,000 kAA のものなども計畫されている。大型の方が熱損失少く有利であり、さらに密閉式爐が計畫されているけれども、日本の電氣事情にあつては渇水期に電力を制限される關係上必ずしも大型爐が便利といえない。

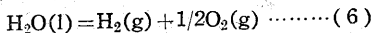
カーバイドから石灰窒素をつくるには、カーバイドを粉碎し、これを窒化炭に充填して窒素を吹込めばよい。



この反應は發熱反應であつて、最初 1,000' 位に加熱して反應を進行せしめると、あとは反應熱によつて保たれるはずであるが、通常電極を挿入して加熱している。また空氣を液化分離して窒素を取るのに電力を必要とする。

水の電解 (疏安)

水の電解は化學的にいへば誠に簡單である。

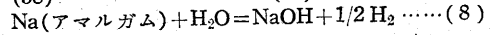
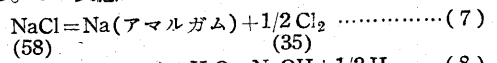


この分解には理論的には 1.22 V を必要とするが實際には 2.0 V 位の端子電壓をかけている。電導性を持たせるには 15% 位の NaOH 水溶液にする。極は鐵であるが、ニッケル鍍して水素過電壓を低下せしめて現在の 2.0 V をさらに低下するようにつとめている。直流は水銀整流機または廻轉變流機を用いる所も多い。500 V の直流に 250 槽位を直列にして負荷し、4,000 A 位の電流を通過させる。

電解ソーダ

NaOH の製造にはアンモニアソーダ法によつて Na<sub>2</sub>

CO<sub>3</sub>をつくり、これを Ca(OH)<sub>2</sub>にて苛性化する方法和電解法がある。さらに電解法にも隔膜法と水銀法がある。わが國においては次第に電解法が多くなり、その中でも製品の純度の良い水銀法が占める割合が多くなつてゐる。この反應はつぎの式の通りである。



(7) 式にてアマルガム濃度 0.206% として理論分解電壓 3.226 V であるが實際には 4.2~4.3 V 位を負荷している。隔膜法はこれよりやや低目で 4.0 V 位である。多くの場合電解ソーダは規模が小さく 6,000 A, 300 V 位の廻轉變流機を用いるが、水銀整流機を用いてもよい。新しい型の水銀整流機イグナイトロンなどを使用している工場もある。水銀法においては最近いろいろな改良が行われているがその改良はたとえば廻轉陰極、塔式解汞法などで、主として解汞速度 ((8) 式の反應) を促進して電流密度を増すためのものである。

電氣化學工業にはこの他に電解精鍊、黒鉛、電解鐵、過マンガン酸カリ、電鍍、電槽などいろいろある。また化學工業に電力を應用することもはなはだ多いが、これらは他日にゆずり、ここには最も多量に電氣を使用する化學工業についてその電力使用の概況をのべるにとどめた。電氣化學工業が電氣を實に多量に使用し、しかも常に一定量供給されることが望ましいことの認識を深めていただければ幸である。電氣化學は決して電力をむだにしない。それ所か空氣、水、石灰石など日本にありあまるものから、われわれの食糧に必要な肥料を供給するからである。電氣の分布圖をお貸し下さつた經濟安定本部資源委員會黒澤俊一氏に感謝をささげる。

(1952.5.19)

筆者紹介

- ◇始關伊平 元商工省鑛山局長、鐵鋼局長、前資源廳長官
- ◇安藝皎一 教授 工博(兼)經濟安定本部資源調查會事務局長
- ◇岡本舜三 教授 工博 專攻 土木構造物に關係のある構造力學、應用彈性學
- ◇丸安隆和 助教授 工博 專攻 コンクリート工學、測量學
- ◇井口昌平 助教授 專攻 水工學(水理學)
- ◇淺岡勝彦 日本セメントKK中央研究所 主任研究員
- ◇菊池眞一 教授 工博 專攻 電氣化學、寫眞化學
- ◇高畑政信 公益事業委員會事務局 開發課

☆ ☆ ☆

表紙説明

山梨縣佐野川發電所柿元ダム No. 5 ブロック (監査廊の見えるところ) のコンクリート打設狀況。寫眞の中央右側に見えるアーチダム形の部分と左側に見えるバットレスダム状の部分は、いずれも少量のコンクリートで水位を高めるために設けたもので、工事再開により取りこわし、新しくコンクリートを打込むものである。

☆ ☆ ☆