

# 化学技術論序説 (1)

飯 島 孝

1. はしがき
2. 化学技術とは……
3. 化学技術と化学工程
  - (1) 技術と労働過程
  - (2) 労働過程と化学工程
  - (3) 化学技術と化学工程
    - (3-1) 化学工程の自然過程
    - (3-2) 化学工程の技術過程
4. 化学労働
5. 化学装置
  - (1) 化学装置の特徴と発展
  - (2) 化学装置をめぐる諸説 …… (以上本号)
6. 化学原料と化学製品
  - (1) 化学工業, 化学技術と製品
  - (2) 労働対象としての原料
  - (3) 原料・ユーティリティ
  - (4) 化学製品・廃棄物
  - (5) 原料・製品とコンビナート
7. 化学工程による化学技術の時代区分
8. コンビナートの化学技術  
(コンビナートの生産力構造の形成・変貌)

## 1. はしがき

化学技術は如何なる特色をもつ技術か。経済学は、技術を如何に把握すれ

ばよいか。経済学と関連させて技術を論ずる技術論では、化学技術の特色を労働手段の体系とみて、「装置」をもって示すことが多い<sup>1)</sup>。しかし、これでは不十分である。

小論では、化学技術は特有の労働過程，すなわち化学工程において検討することで，その諸特徴が明らかにできると考える。

そこで，化学工程を構成する化学労働・原料・装置と，それぞれの特徴について述べる。とくに，化学労働の設計について，また装置と化学工程の諸操作のシステムの関連を論述する。さらに，化学工程による時代区分と技術進歩について考察したい。

続いて，化学工程が価値の増殖過程として，生産過程に転化し，これが生産力の質を規定していることについてもふれる。

〔註〕

- 1) たとえば，中村静治『技術論論争史』下，青木書店（1979），344—345 ページ。  
加藤邦興『化学機械と装置の歴史』産業技術センター（1978），2 ページ

## 2. 化学技術とは……

化学技術は，化学工業において，肥料や染料の合成，プラスチックなどの有用な化学製品を生産する技術である。排煙脱硫・排水処理の技術は，有用な化学製品は生産しないが，これも化学技術である。他の産業分野，IC 製造のためのリソグラフィ，エッチングなどの化学処理は，紛れもなく化学技術である。以上あげた技術は，いずれも物質の化学変化・化学反応が利用されている。鉄鉱石から，高炉で銑鉄を生産する技術も，化学反応を利用して点では化学技術であるが，冶金，あるいは鉄鋼技術の領域に位置づけられている。

化学技術は，上記の例からもわかるように，この技術を使用している産業も多岐にわたり，産業の「化学化」が進んでいる。化学技術は化学工業の生

産技術と限定しえないにしても、化学工業には必須であり、そこで特色が示される。小論では、化学工業と関連させ、その生産技術として、化学技術の特色をみたい。

化学技術は、自然界のさまざまな化学変化を究め、法則性を認識し、体系づけられた化学が基礎にはなるが、単に、化学が生産技術に応用されたとみるべきではない。

技術は、武谷三男によると「人間実践（生産的実践）における客観的法則性の意識的適用である」と規定される<sup>1)</sup>。

技術は、科学として認識される以前に、生産現場の経験から、何らかの客観的な法則性をつかみ、生産の目的に実践する。これが、科学と技術の違いであると武谷はいう。現在の技術は、科学や工学の知識や理論が不可欠であり、その先行性において、また、その応用とみられる面がある。しかし、技術史、あるいは生産現場からみて、科学や工学にたいする技術の先行性は否定できない。

星野芳郎は、武谷がいう、科学と技術との関係の論理をこう述べる。「科学は経験法則をとらえるだけでは満足せず、さらに自然に立ちいって、普遍的な自然法則をとらえようとするが、技術においては、目的を実現して生産物をえることが最も重要である。」「経験法則が科学者によって普遍的な自然法則にまで高めることは、技術の発展を意識的計画的にさせ、幅広く水準の高い技術発展を可能にする」<sup>2)</sup>。

化学とその工学は、普遍的な自然法則性をとらえ、これを認識しようとするが、化学技術は、これと異なり、とりあえず、客観的な自然法則性に従って、目的の化学処理、あるいは化学製品をつくれればよい。化学技術の生産的実践では、その客観的な自然法則性とは、如何なるものか。これが、技術一般と如何に違っているのか。これを生産現場にみる化学技術に照らし、確かめることにしたい。

〔註〕

- 1) 武谷三男『武谷三男著作集』第1巻，勁草書房（1968），139 ページ
- 2) 星野芳郎『星野芳郎著作集』第1巻，勁草書房（1977），438 ページ

### 3. 化学技術と化学工程

#### (1) 技術と労働過程

生産的実践の概念として技術をみるとき，この生産実践は労働そのものである。

これについて，星野芳郎は，「労働を労働たらしめる本質は，労働において，合目的な自然法則性を意識的に適用することである」と述べ，さらに，動物と人間の行動の違いにふれ，「人間は，目的を意識し，合目的な自然法則性を客観的にとらえ，それを実践のなかに意識的に適用する」。そして，武谷が「自然法則性といわずに客観的法則性といったのは，人間が合目的な自然法則性をとらえるやりかたには，二通り」あって，主観的に自然法則性をとらえた場合，一般にカンやコツといわれる技能と，合目的な客観的な自然法則性をとらえるところの技術とに武谷は分けたと，星野は説く<sup>1)</sup>。

武谷は，技術と技能について，こう述べる。「技術は客観的なものに対し，技能は主観的心理的個人的なものであり，熟練によって獲得されるものであります。技術はこれに反して客観的であるゆえに，組織的社会的なものであり，知識の形によって個人から個人への伝承ということが可能なのであります。すなわち技術は社会の進展に伴い伝承により次第に豊富化されて行く事になります」。さらに武谷は「労働とは技術と技能の統一において実現されるものであります。すなわち，一定の技術には一定の技能が必然的に存在して，労働を実現する事になりますが，しかし，技術の立場というものは常に，主観的個人的技能を，客観的な技術に解消して行く事にあります。し

かし、解消される事によって技能が消失するものであるかというのに、決してしからず、新たな技術には新たな技能が要求され、これがまた再度技術に解消されながら発展して行くという弁証法的関係をとるのであります。しかして技能の技術化によって、一般に生産力ははなはだしき上昇を示し、また生産物の質も向上するのであります」<sup>2)</sup>。

この武谷の見方にたいし、生産現場では、技術と技能は表裏一体をなしていて分かちがたいと、村田富二郎は指摘し、技能を包摂した技術の定義を提示する。しかし、技術と技能を峻別する武谷の規定の方が、労働過程からみると、理に合う<sup>3)</sup>。

生産的实践としての技術は、労働に包摂され、労働過程の一面、労働の技術的過程とみることができる。

労働過程について、マルクスは、つぎのように述べる。

「労働は、まず第一に、人間と自然のあいだの一過程である。すなわち、人間とその自然との物質代謝を彼自身の行為によって媒介し、規制し、調整する過程である。人間は自然素材そのものにたいして、一つの自然力として相対する。彼は、自然素材を彼自身の生活の使用しうる形態において獲得するために、彼のもっている自然力、すなわち、腕や脚、頭や手を動かす。この運動により、彼の外にある自然に働きかけ、これを変化させるとともに、同時に彼は彼自身の自然を変化させる」<sup>4)</sup>。

武谷が規定する技術の生産的实践は、人間の能動的な合目的活動、労働過程の一面である技術的過程を意味している。

さらに、マルクスの『資本論』から引用すると、「彼は自然的なものの形態変化を引き起こすのではない。彼は自然的なもののうちに、同時に、彼の目的を実現するのである。彼が知っており、法則として彼の行動の仕方を規定し、彼がその意志を従属させねばならない目的を実現するのである。」<sup>5)</sup>

人間の生産的实践、能動的な合目的活動は、その目的実現のため、自然の法則性に従わねばならないこと、言葉を換えると、その法則性の意識的な適

用が求められる。これは、技術と技能を併せた労働一般についていえることである。しかし、技術における生産的実践は、前述したように、合目的な客観的な自然法則性を意識的に適用することである。このことによって、労働過程の技術的性格、すなわち、労働過程の一面、技術的過程を労働過程の中にみることができる。技術過程の労働主体は、技術を担う技術労働者であり、技術者と呼ぶことができよう<sup>6)</sup>。

そして、マルクスは「労働過程の単純なる諸要素は、目的に合致する活動または労働そのもの、その対象、および手段である。」とみる<sup>7)</sup>。

武谷は、労働過程の構成要素の労働手段・労働対象・労働力の中に、それぞれ、技術があり、これら構成要素が実体となり、これを通して、これを媒介にして、技術は現象し、その本質が示されるとした。その中で、武谷は労働の主体であり、技術の担い手である技術者・技術労働者の役割を重くみた<sup>8)</sup>。

マルクスは「労働過程においては、人間の活動は、あらかじめ企図された労働対象の変化を、労働手段によって生じせしめる。……その生産物は一つの使用価値であり、形態変化によって、人間の欲望に適合するものとされた自然素材である。労働はその対象と結合した。労働は対象化され、対象は加工される。」と述べる<sup>9)</sup>。

小論は、マルクスの言葉を借りるなら、あらかじめ企図された労働対象（原料）の化学変化を労働手段（装置）によって生じせしめ、化学製品という使用価値をつくる人間の合目的活動である労働過程から化学技術を考察する。

マルクスは、続いて、「商品そのものが、使用価値と価値との統一であるように、その生産過程は、労働過程と価値形成過程との統一でなければならない」という<sup>10)</sup>。

マルクスは、使用価値をつくりだす労働過程を、「人間の欲望のための自然的なものの取得であり、……人間生活の永久の自然条件であって、したが

って、この生活のいかなる形態からも独立したものであり、むしろ、人間の一切の社会形態に等しく共通なもの」としている<sup>11)</sup>。しかし、労働過程は、商品生産、つまり資本主義においては価値形成過程と、さらに、これの質的に高まった価値増殖過程の側面をもつ生産過程に転化するとみる。マルクスは「労働過程と価値増殖過程との統一としては、それは資本主義的生産過程であり、商品の資本主義的形態である。」<sup>12)</sup>と述べる。

マルクスは、労働過程の労働対象（原料）と労働手段を併せて、これを生産手段とし、これは生産過程にて価値をうみださない、つまり価値量が変わらないから不変資本とし、これに反して、価値、あるいは剰余価値をうみだす労働力を可変資本とした。マルクスは、こう述べる。「労働過程の立場から客体的および主体的因子として、すなわち、生産手段と労働力として区別されて、同じ資本構成部分が、価値増殖過程の立場からは、不変資本および可変資本として区別される。」<sup>13)</sup>

上記のマルクスの分析に依拠し、生産現場に事実を求めると、技術は労働過程を通して、さらに、資本主義的生産過程を介して、その発展も、その性格も内容も規定され、社会の生産力を現出するとみたい。

また、資本主義生産過程における、不変資本と可変資本の構成割合の変化、すなわち、技術的構成の形態変化は、やはり、資本による労働の支配、化学技術の形態、化学工業の経営形態をも決める。

マルクスからの引用を続けると、「絶対的剰余価値の生産は、労働日の長さのみを軸として回転する。相対的剰余価値の生産は、労働の技術的過程と社会的人員配列を徹底的に変革する。」<sup>14)</sup> 労働の技術的過程である化学工程において、新技術の開発は、相対的剰余価値の生産であり、また、労働力編成も変えることである。これは、後述する事実にも即しても明らかである。

以上、マルクスのいう労働過程に依拠し、生産的实践である技術の意味を確かめた。

生産現場の化学技術を的確に把握するには、また、労働過程、つまり、後

述する化学工程からの視点が必要になる。

〔註〕

- 1) 星野芳郎, 前掲『著作集』第1巻, 426, 436 ページ
- 2) 武谷三男, 前掲『著作集』第1巻, 137—138 ページ
- 3) 村田富二郎は, 技術を「生産の場で直接また間接に活用される, 特定の訓練を受けた人のみもっている固有の能力」と定義して, 技能も技術に包摂されるとし, 「従来の技術論者は, 技能を技術でないといわりに言っている」と述べる。日常の生産現場の作業では, 技能のない技術はないともいう。村田富二郎『技術とは何だろ  
うか』アグネ (1983), 7, 13 ページ
- 4) マルクス『資本論』第1巻, 岩波書店 (1977), 231 ページ
- 5) マルクス, 同上書, 232 ページ
- 6) 労働主体は, 資本主義社会では, 資本家も技術を担う。
- 7) マルクス, 前掲書, 232 ページ
- 8) 武谷三男, 前掲『著作集』第5巻, 128 ページ
- 9) マルクス, 前掲書, 235 ページ
- 10) マルクス, 同上書, 242 ページ
- 11) マルクス, 同上書, 239 ページ
- 12) マルクス, 同上書, 256 ページ
- 13) マルクス, 同上書, 271 ページ
- 14) マルクス, 同上書, 639 ページ

## (2) 労働過程と化学工程

マルクスは労働過程について, さらに, こう述べる。「使用価値そのものは, 労働過程の中の現実の転化過程を通るのであって, この過程の性質が機械的であろうと化学的であろうと物理的であろうとそうなのである。」「それぞれの生産部面によって労働過程は違っており, したがって労働過程の諸要因も違っている。紡錘や綿花や紡績工によって長靴をつくることはできない。」<sup>1)</sup> また, マルクスは, 生産過程の労働に対立する機械の登場にふれ, これを「科学の技術学的応用」とみて, 「生産に科学的性格をあてることは資本の傾向なのであって, 直接労働はこの過程の単なる一契機にひきまげられる。」<sup>2)</sup> 続いて「生産過程の単純な労働過程から科学的過程への転化……

人間の欲望に奉仕……固定資本の属性として生きた労働に対立して現れる』<sup>3)</sup>と述べる。

マルクスは、単純な労働過程から、科学的な、工学的な労働過程への発展をみた。筆者は、これが、工場の生産現場にある、科学的な、工学的な労働過程、すなわち、生産工程であるとみたい。生産工程は、生産現場において、生産過程として、価値形成、あるいは価値増殖過程の側面をもっている。しかし、ここでは、生産工程を、使用価値をつくりだす労働過程としてとらえる。

「生産部面によって労働過程はちがって」いるというマルクスの言葉を採用するなら、化学処理あるいは化学製品を生産する労働過程には、「過程の性質」が「化学的な」特有の労働過程がある。そしてそれは科学的な、工学的な労働過程としての化学工程である。

化学技術の中心に、特有の労働過程、生産工程の一つである化学工程をすえて、これを検討する。

化学技術の中心に化学工程をすえるのは、如何なる装置と原料によって、如何なる方法によって化学変化させ、如何なる化学製品、化学処理をするか、これにかかわる労働主体の役割、仕事の手間が目に見え、全体のつながりがつかめるからである。

武谷は「技術において最も重要な要素をなす『工程』の扱うものでなくてはならない……工程は労働手段とは別個の要素であり、同一労働手段においても異なる工程の発見において大いなる生産力……」と生産工程を重視した<sup>4)</sup>。

星野は、労働過程を生産工程と言い換え、これを技術体系の中心にすえて、その生産工程（労働過程）の目的と手段の連鎖——人間と自然との関係を7種に分けて産業の分類と労働過程の基本的特性を示す。星野が示す、その労働過程の特性では、化学工程は「原材料生産」に位置づけられる。また、星野は、労働過程を労働対象を変換して目的を実現する、一つのシステ

ムとしてとらえている。システムの構造を作業システムから、5種の形態に技術を分け、特色と相互連関を論じている<sup>5)</sup>。

星野は「原材料生産」の概念図を示すが、化学工程を具体的に述べているわけではない。

化学工程は、生産現場の化学技術が重視する「化学工程（化学プロセス）」と重なる。しかし、生産現場では、「化学工程（化学プロセス）」を、多分に労働過程としては認識してはいない。

生産現場の「化学工程（化学プロセス）」について、いくつかの見解をあげる。

内田俊一は、化学工学は化学プロセスを重視すべきであると述べる。内田によると、化学プロセスは一連の相互関連のある単位物理操作、単位化学反応である。内田は、これに付け加え、プロセスは「特定の目的を達成するためにとられる系統的な一連の活動、または一定の様相でおこる連続的な活動、作業または変化」とし、後述する F. マタレは装置を用い行う過程を「プロセス Prozess」といったのと同ーだと述べる<sup>6)</sup>。

藤田重文は、物質の化学的性質まで変える処理が化学プロセスであるとして、化学技術者のみが化学プロセスを知る唯一の技術者とみる<sup>7)</sup>。

矢木栄、西村肇は、化学プロセス工学—システム工学の樹立をはかり、そこで、化学プロセスは、状態変化を進行させ、これを起こさせる手続きと一連の操作であるという<sup>8)</sup>。

早川豊彦は、化学プロセスでは物質系に温度・圧力・濃度などの環境条件を設定すると、物質系はその性質から、自然にある平衡状態になる。これは自然の法則性によって決まるのであり、人間の意志に無関係である。しかし、われわれは、環境条件を選ぶことで、物質系に変化させることができる。意志によって、希望する方向に物質の変化を導く手段が化学工学でいう操作である。早川は、化学プロセスは単なる自然の変化過程ではなく、目的とする製品を生産する過程であるから、工程と呼ぶべきだと述べる<sup>9)</sup>。

以上は、工学者の諸見解である。経済学者としては、馬場敬治が、化学工業の技術的特質は「生産行程」に「化学的過程 (Chemical process) —— 労働対象の化学的性質の変化によって構成され、さらにこの化学変化を助ける物理学的『化学工学操作』が重要である」とした<sup>10)</sup>。

F. マタレは、労働手段の機械と装置の差異を論ずるが、そこで装置では「労働対象のみが天然に内在する力のおかげ」で進行し、これの「目的実現過程そのものを手順 (Prozess)」と呼んだ<sup>11)</sup>。

渡辺徳二は化学的方法 (Chemical process) を使用し、製品の製造を行う産業と化学工業を規定する<sup>12)</sup>。

村田富二郎は、技術を体系的に学ぶには、工程の分析が必要と説く。そして、化学工程は、単位工程から構成されているとみる<sup>13)</sup>。

以上「化学工程—化学プロセス」についての諸見解をまとめるとつぎのようになる。① 化学技術を特徴づける。② 目的を達成するため、物質の化学変化・状態変化を起こさせ、進行させる一連の手続き、操作を行うことである。

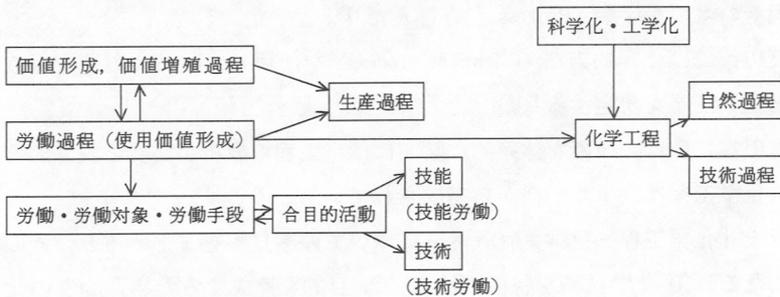
ここで示される「化学工程」——とくに工学者の示すそれは、生産的実践のための、客観的な自然の法則性、すなわち、労働過程における自然過程を多分に意味している<sup>14)</sup>。自然過程としての「化学工程」を技術過程としてとらえなおし、経済学的な意味を付与し、これをもって化学技術の特徴を明らかにしたい。

渡辺雅男は、労働の技術ということから、つぎのように述べる。「技術は主体と客体とを媒介する一定の様式として把握される。ここで言う様式とは、一定の仕方様式 (Art und Weise) のことであり、具体的には、労働過程の諸契機が相互に媒介されあうさいの手順、措置、規制、方法、等の一切を条件とする。」渡辺は、これによって技術水準も示され、また、可変資本と不変資本の結合 (媒介) 様式として定式化できるとみる<sup>15)</sup>。

「化学工程 (化学プロセス)」を労働過程として、技術過程ととらえるに

は、つぎの点から考察する。生産現場の化学技術と化学工程において、労働過程の諸契機——原料・装置・労働が相互に媒介しあい、物質の化学変化を実現するための規制、進行の操作、手順を明らかにすることである。これによって、また、化学工程のみではなく、化学技術の特徴も把握できよう。

いままで述べてきた、労働過程（自然過程・技術過程）、化学工程（生産工程）、生産過程などの概念を、1図に示す。



1図 労働過程，生産工程（化学工程），生産過程などの概念図

〔註〕

- 1) マルクス『直接的生産過程の諸結果』国民文庫，大月書店（1982），15，68 ページ
- 2) マルクス『経済学批判要綱』Ⅲ，大月書店（1980），647 ページ
- 3) マルクス，同上書，648 ページ
- 4) 武谷三男，前掲『著作集』第1巻，135 ページ
- 5) 星野芳郎『技術の体系序論』私家版（1971），5 ページ，同『技術の体系』岩波書店（1971），15，29 ページ，同，前掲『著作集』第2巻，23 ページ
- 6) 内田俊一『化学工業総論』共立出版（1969），10，5 ページ
- 7) 藤田重文『化学工学』第1巻，岩波書店（1970），5—6 ページ
- 8) 矢木栄・西村肇『化学プロセス工学』丸善（1969），3 ページ
- 9) 早川豊彦，『ペトロテック』14巻8号，44 ページ
- 10) 馬場敬治『化学工業経済論』共立出版（1938），22，39 ページ。馬場の見解，「化学工学操作」は，友人の内田俊一の影響を受けている。馬場も内田も，F. マタレの『技術と構成』を愛読した。これは，生前の内田からの贈書による。
- 11) F. マタレ，中野研二訳『技術構成と経済』慶応書房（1942），51，52 ページ

- 12) 渡辺徳二『化学工業』日本評論社 (1972), 8 ページ
- 13) 村田富二郎『化学工業概論』日本評論社 (1972), 41, 42 ページ
- 14) 自然過程の用語は, マルクス, 前掲『経済学批判要綱』III, 654 ページ, また, 星野は労働過程を技術過程と自然過程の統一としている。星野芳郎, 前掲『著作集』第2巻, 171 ページ
- 15) 渡辺雅男『技術と労働過程論』梓出版社 (1990), 159, 160 ページ。そこで, 渡辺は, 示唆に富む労働の技術と資本の技術を提示している。

### (3) 化学技術と化学工程

化学工程は, 労働主体が化学技術の実践を通して, 労働手段の装置を使い, あらかじめ企図された労働対象の原料を化学変化させて, 目的の化学製品の生産, あるいは化学処理を行う特有の労働過程である。こうして, 化学工程では, 化学製品, あるいは化学処理という, 有用な, 特有の使用価値が生産される。

ここで化学工程の性質と内容を確認したい。化学工程には, 自然過程と技術過程の二つの側面がある。まず, 化学工程において, 労働主体が, 目的実現のために, 従わざるをえない自然の法則性, すなわち, 自然過程をとりあげる。つぎに, 労働主体が, 自然過程を介して, 生産手段 (原料・装置) と結びつき, 目的を実現する仕方, 過程, すなわち, 化学工程の技術過程をみる。

#### (3-1) 化学工程の自然過程

化学工程の自然過程をみよう。

第一に, 化学工程における, 労働対象の原料の物質変換は, 化学変化を主とした物質系の変化である。物質系は, 温度・圧力・濃度などの環境条件を決めることによって (操作することで), 人為的に, その変化を希望する方向に導くことができる。小論では, 化学工程における, この物質変換の一連の手続きを操作という。化学工程は, 化学変化の操作が中心にあり, 他の生

産工程，たとえば，労働対象の材料の形態・形状を変化させる機械加工などとは違う。

第二に化学工程は，反応操作を主とした，一連の諸操作の系列秩序，順序からなる物質変換のシステムである。この物質変換システムには，このシステムを進行させ，制御するサブシステムが付随する。

化学工程の自然過程について，第一にあげる諸操作を述べる。

#### 〈物質の化学変化〉

物質の化学変化（化学反応）とは，ある物質が性質の異なる他の物質に変化することをいう。物質，つまりこれを構成する分子の化学変化は，原子の結合・分離によって起こる。そこで原料物質の分子—反応物は，その原子の結合の組合せが変わり，つまり反応物の原子の結合から分離して新しい原子の結合である生成物になる<sup>1)</sup>。しかし，化学技術が対象とする原料物質は，単体，同一組成の物質に限られていない。これら原料物質は，通常，混合物，あるいは化合物の分子であるから，その物質の中から，特定の原子を選択的に結合・分離させること，すなわち，目的の化学変化を起こさせるのは難しい。したがって，原料物質から目的の化学変化に邪魔になる不純物を除去して，一定組成にする操作，すなわち，精製といわれている操作が必要になる。その操作は蒸留・吸収・抽出など分離を目的にした操作である。この操作は化学変化—化学反応を利用した操作ではなくて，物質の物理的な変化を利用した操作である。原料物質を化学変化させても，目的の製品物質以外に，副生物が生成するので，同様な操作で，これを分離・除去しなければならない。

石油化学工業では，石油精製工場の段階にて，原料の石油を精製—蒸留するが，これは多成分（多種類の分子の混合物）からなる石油を一定の組成の沸点成分—ナフサ成分にする。これをエチレン製造工場にて，さらに熱分解し，精製分離し，単純な分子のエチレン，プロピレンなどにし，これを原料

物質としてプラスチックのモノマーを合成し、さらにポリマーに重合するのも、その例になる。

ここでは、化学変化—化学反応は分子を構成する原子の結合・分離でみたが、さらにミクロな、原子を構成する電子、すなわち、分子内の電子の動き、原子価電子の挙動から、化学反応を解明する量子化学が発達した。生産現場でも、量子化学がとりいれられるようになる。如何なる分子の間に化学反応が起こり、如何なる性質の生成物ができるか、そして、これの推進力をなす化学ポテンシャルも、量子化学から解明されるようになった。後述する分子設計ができるのは、その例になる。

#### 〈化学反応と分子集団—三態〉

原料物質の化学変化—原子の結合・分離、そこでの個々の原子の挙動は、粒子としてではなく、マクロな分子の集団である気相（気体）・液相（液体）・固相（固体）の状態の中で進められる。つまり、気体や液体、固体の状態にある分子が、拡散・移動・接触して、原子の結合・分離が行われる。

原料物質が、同じような性質の物質であっても、気体であるか、液体、固体であるかによって、反応の仕方も装置も違う。

化学反応は、前述したように、反応物質の分子内の電子の動きによって、化学ポテンシャルが推進力になり、反応が進行する。しかし、生産現場では、原料の反応物質の状態は、マクロな分子の集団である気相・液相・固相の三態の中のいずれかである。温度・圧力・濃度（組成）は、マクロな分子の集団全体（三態）の状態を示す量である。したがって、化学反応は、このマクロな分子集団全体がもつ温度・圧力・濃度（組成）の条件によって反応の方向・進行が決まり、その条件で反応物と生成物が一定の割合、すなわち化学的平衡に達する。この温度・圧力・濃度（組成）が反応を起こして生成物を平衡にさせる条件であり、後述する反応操作の環境条件である。

反応を推進する化学ポテンシャルには、活性化エネルギーが必要である。そのエネルギーは、通常、反応が吸熱反応であるため、これを進行させるには熱エネルギーによることが多い。化学反応に供給される、活性化エネルギーには、熱エネルギー以外に電気・光・磁気エネルギーがある。

小さい活性化エネルギーで、反応を円滑に進める手段には、触媒の使用がある。触媒は、これの使用で、経済的に不可能であった反応を可能にし、化学技術や化学工業では大きな役割を果たしている。

### 〈反応操作〉

生産現場の化学反応は、マクロな分子の集団である相を通して、原子・分子は拡散・移動する。これは物質移動と呼ばれる。反応を進める熱エネルギーにしても、相を通しての熱の伝達、熱移動が必要である。物質移動・熱移動には、これらの移動を阻止するような抵抗が、とくに異質な相と相との界面にある。反応はこれらの抵抗を小さくして、原子・分子の結合・分離を速やかに、効率よく進める必要がある。たとえば、反応物質を攪拌するのは、反応物質間の接触面積を大きくしたり、界面からの拡散を助ける。

原料物質において、ミクロな分子内の電子の動きと、マクロな原子・分子が相を通しての物質移動・熱移動を考慮して、反応物が生成物になる変化の進行とその条件を決めるのが反応操作である。反応操作は、単なる化学反応のみではなく、ミクロな量子化学の面とマクロな物質移動・熱移動という化学工学、反応工学の面の解析が求められる。

### 〈物質移動操作〉

原料物質の不純物や生成物の副生物は蒸留や吸収操作、抽出操作によって分離されることは前述した。蒸留操作は、液相中の目的成分を揮発させて、つまり液相の成分を気相に変化させて分離する。吸収操作は気相中の目的成分を溶剤に溶解させて、気相の成分を液相に変化させて分離する。抽出操作

は、固相、あるいは液相中の目的成分を溶剤に溶解させて分離する。その他にも、気相・液相中の目的成分を吸着剤に吸着させる吸着操作、固体に付着した水分を乾燥させる乾燥操作、液体に固体・気体を溶解させる操作などの諸操作がある。

以上あげた諸操作は、目的成分の相の変化である状態変化を利用している。この状態変化は、分子がマクロな分子集団である相を拡散・移動するのである。前述したように、これらの諸操作は物質移動操作であり、物質移動操作を変化させる推進力は濃度差であり、物質（分子）の移動は高濃度から低濃度に向かう。

#### 〈熱移動操作〉

化学反応操作には、反応を進行させるため、反応物を加熱することが多い。逆に反応過程において、反応物を冷却して反応の暴走を制御することがある。物質移動操作にしても、蒸留を例にすると、目的成分を揮発させるための加熱、揮発した蒸気を凝縮させるための冷却をすることが必要である。吸着操作にしても、吸着剤に吸着した成分を追い出し、吸着剤を賦活するために加熱が必要である。

加熱、冷却などの操作を熱移動操作と呼ぶ。熱移動操作の推進力は温度差であり、高温から低温に熱は平衡値まで移動する。熱移動の平衡値への速度は、前述した物質移動と同じように、速度を遅くする抵抗を小さくして、その速度を速めることができる。

#### 〈機械的操作〉

化学工程には、反応操作、物質移動操作、および熱移動操作以外に、つぎの操作がある。それは反応物や生成物、その中間物を送るポンプ・送風機・圧縮機、コンベアなどによる、物質の組成変化のない気体や液体・固体の物量移動の操作である。

また、固体の原料物質の粉碎、粉体のふるい分け、あるいは、粉体の集塵など固体の形状変化、分離などの操作もある。

液体や固体を混合するための攪拌操作、液体中の固体成分の相変化なしに分離する濾過操作も化学工程には必要である。

以上あげた、組成変化のない物量移動操作、あるいは、形状の変化はあっても、相変化のない粉碎・集塵・濾過などの操作は、機械的操作といて、その変化の推進力は機械力による。

#### 〈諸操作と操作の環境条件、単位操作〉

以上、化学工程にみられる諸操作は、反応操作・物質移動操作・熱移動操作・機械的操作と、大きくは四つに分けることができる。諸操作を四つに分類したのは、操作の仕組みを工学的に体系づけるためである。実際の諸操作は相互に組み込まれている。たとえば、物質移動操作の蒸留・吸収操作には、熱移動操作の加熱・冷却操作が必要である。

蒸留・吸収などの諸操作は、単位操作と呼ばれ、化学工学の研究対象である。単位操作の概念は、実際の装置を経験を実用的に整理したものとみられる<sup>2)</sup>。

小論では、操作の概念は、化学工程における物質転換の要素として、すでに述べたように、物質変換の手続きとして用いる。

化学工程では、物質移動・熱移動・機械的操作などの、化学変化ではない物理的な変化の操作も組み込まれていて、その役割は大きい。

反応操作・物質移動操作・熱移動操作では、その物質変化は、熱力学的な状態変化である。前述したように、その変化は、操作の環境条件である温度・圧力・濃度（組成）を決めると、自ずと、目的とする状態に達する（これを平衡状態という）。機械的操作における形状変化などは、単なる力学的な変化であるから、これらと全く異なる。

化学工程の自然過程について、第二にあげる物質変換のシステムについて述べる。

〈諸操作の物質変換システム〉

原料物質の反応物が、目的の生成物に至るまでには、反応物は、一定の経路といくつかの段階順序で反応操作が加えられる。これは、化学変化、すなわち、反応物の原子の組替えには、経路や順序があることを意味している。原料物質を出発物質として、いくつかの中間生成物を経て目的の生成物、つまり製品に達する道すじは、原料物質の取得の難易、反応物、中間生成物などの反応の選択性、副生物の回収、生成物の収率などで決められる。とくに、医薬品・染料など有機化合物の合成は、炭素・炭素結合の反応、官能基を特定の位置に配置するなどするため、生成物の構造も複雑であり、その反応経路も多岐多様になる。この合成は「一筋縄ではいかない」「芸術品」のようなものといわれ、長年の経験がものをいっていた<sup>3)</sup>。しかし、後述するように、量子化学の発達、コンピュータの利用によって、医薬品などの有機合成も「設計」できるようになった。

反応操作の目的を助け、進めるために、物質移動操作・熱移動操作・機械的操作があることは前述した。

化学工程は、反応物が中間製品を経て生成物になる、一連の物質の流れに沿って、化学変化の段階ごとに、それぞれの反応操作があり、これと相互に関連しながら、反応操作を助け、進行させる、各種の物質移動操作・熱移動操作・機械的操作の諸操作をシステムの要素として組み込んだ、目的の化学処理、あるいは化学製品をつくる、物質変換のシステムである。

化学工程の物質変換のシステムは、操作の系列が直線的に並ぶのではなく、多系列的に、あるいは循環的に組まれる。その理由は、未反応物・副生物を再び原料に使用するためである。同じ理由から、コンビナートは化学工程を多系列化・ネットワーク化している。

化学工程の反応操作の発見・発明は、一般に化学工程のシステム変換とな

り、生産性の向上、効率化になり、装置のスクラップ・アンド・ビルドになる。

#### 〈物質変換の制御とシステム、その環境条件の設定〉

化学工程のシステムは、意図する化学製品、あるいは化学処理が実現できるように、諸操作で組み立てられている。これは自然の法則性に従ったシステムである。目的実現のため、自然の法則性の規制を受け、方向づけられている、つまり、工程の諸操作自体が制御されたシステムであり、装置として固定されている。

前述したように、反応・物質移動・熱移動の諸操作では、操作の目的の状態は、温度・圧力・濃度（組成）の環境条件を設定することで、人間の意志に関係なく、自ずと決まる、自然過程なのである。しかし、自然過程の諸操作は、その環境条件を選択することで、人間の意志通りに目的が実現できる。化学工程の諸操作は、その環境条件を設定することで、一連の物質変換を導き、制御し、目的を実現する過程である<sup>4)</sup>。この目的実現のために、環境条件を設定することを媒介にして化学工程の自然過程は技術過程に転化する。

新たな化学処理や化学製品、あるいは新原料、いままでと異なった化学反応を採用すると、工程自体が目的実現の制御システムなので、新たな環境条件の設定が必要になり、工程自体を変えねばならない。

日常の生産現場で、原料の変動——組成、処理量や製品の変動、すなわち外乱に対応して装置を運転・制御するには、制御システムによって環境条件を調整する。

操作の環境条件は、前述した温度・圧力・濃度（組成—反応物の供給量）である。この環境条件、諸操作の特性、原料と製品の要求事項、装置の特性、外乱などの情報を労働主体がつかみ、環境条件を設定した制御システムによって装置は運転される。

化学工程の諸操作には、上記の目的を達成するため、制御システムが付随する。制御システムは、温度・圧力・濃度（組成）あるいは流量を検知（検出）、あるいは測定する部分と、これから得られたデータ（制御量という）を設定し制御の目標値と比較判断して調節する部分、この部分からのデータ（操作量という）をもって制御対象の反応操作などの諸操作に働きかける操作部からなっている。これを人間に対比すると、検出部は、目・手の触感などであり、調節部は頭脳、操作部は手・足に相当しよう。計器・制御装置の発達以前の化学労働は制御システムの役割を果たしていた。化学労働と制御装置については後述する。

#### 〈回分式と連続式〉

化学工程の操業方式には、回分式と連続式がある。回分式は装置内に原料を仕込み、一定時間、反応操作や物質移動操作を行って目的の製品ができる、一回ごとに、これを取り出すシステムである。連続式は原料を連続的に供給し、操作を加え、目的の製品を連続的に取り出すシステムである。回分式の場合、操業中に温度・濃度が時間と共に変化するので、制御に人手を要し、製品の品質も一定でない。また、原料の仕込み、製品の取り出しにも人手を要する。連続式に比較し、生産に要する時間がかかる。回分式は資本の固定費が、連続式に比較し小さく、少量生産に向いている。しかし、諸操作の仕組みが解明され、コンピュータによる制御システムが回分式にとられるようになり、品質・人手の問題も解決されてきた。

#### 〔註〕

- 1) 生物化学反応—発酵にしても、本質的には同じである。
- 2) 単位操作は、英国のデヴィスの *Chemical Engineering* (1901) に初めて用いられる。米国のウォーカーが1920年に体系づける。*History of Chemical Engineering*, American Chemical Society (1980), pp. 83, 97.
- 3) 目武雄、『岩波講座現代化学』第4巻『物質の合成』上、岩波書店(1979)、25ページ

- 4) 神保元二は、化学技術の特徴として、2点をあげる。第一は人工的条件下で物質の変換過程を進める。第二は、物質に内在の状態変化が主導する変化過程である。『技術と人間』臨時増刊（1973年10月）、121ページ

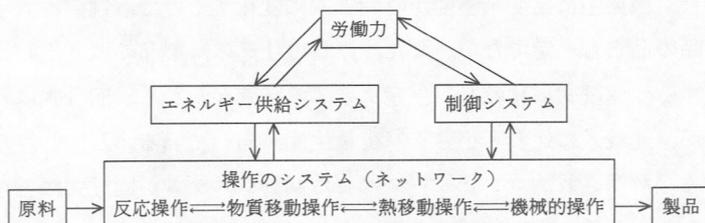
### (3-2) 化学工程の技術過程

つぎに、化学工程の技術過程をみよう。

化学工程のシステムの一面は、人間の意志に左右されない自然過程である。しかし、人間が、すなわち労働主体が、意識的に環境条件を設定することによって、これを介して、化学工程は目的を実現する技術過程になる。このことは、先に述べた。

技術過程は労働主体が化学工程を設計し、これにもとづき装置を製作、さらに装置を運転・操業する一連の過程である。言葉を換えると、化学工程において、労働主体が労働力を支出・消費する過程を意味し、また生きた労働が原料・装置に結びつく過程である。

化学工程の概念を2図に示す。



2図 化学工程の概念図

#### 〈化学労働の特徴〉

化学工程の生産現場に従事する労働を化学労働と呼ぶことにする。化学労働には、如何なる特殊な能力が必要であろうか<sup>1)</sup>。

労働主体が、化学工程を通して、労働対象である原料を化学変化させるに

は、意識的に諸操作の環境条件を設定して、その目的を実現する。このことは、すでに述べた。

化学労働の大きな特徴は、前述した、労働主体による、諸操作の環境条件の意識的な、合目的な設定である。

そして、化学労働は、生産現場の化学工程にて、労働力を直接的に支出する場合、つまり装置の運転・管理に従事する場合と、同じ生産現場でも、間接的に労働力を支出する場合とは、労働力の支出の形態が異なる。前者の化学労働は後述することにして、後者の場合、設計について述べる。

#### 〈設 計〉

化学技術者は、目的の物質を製造・合成する以前、あるいは装置を製作する以前に、いままでの経験や理論に照らし合わせ、企図する製造物や製作物のかたちを図面や仕様書に描くことができる。これが設計である。

マルクスが述べる、労働過程における「表象」は、設計を意味するとみたい。そこでマルクスは「蜘蛛は織匠のそれに似た作業をなし、蜜蜂はその蜂房の構造によって、多くの人間の建築師を顔色なからしめる。しかし、最悪の建築師でも、もとより最良の蜜蜂にまさるわけは、建築師が蜂房を蠟で築く前に、すでに頭の中にそれを築いているということである。労働過程の終わりには、その初めにすでに労働者の表象としてあり、したがって、すでに観念的に存在した結果がでてくるのである」、その表象は「法則として彼の行動の仕方を規定し、彼がその意志を従属させねばならない目的を、実現するのである。」<sup>2)</sup>と述べる。

三枝博音は、このマルクスの言葉を、「製作物の表象」としてとらえ、目の中で、心の中で描く能力——描形力と呼び、すぐれた技術者は、形像を描く能力に恵まれた人たちであるという<sup>3)</sup>。

製造・製作を前提に、設計が行われることは、労働における「構想と実行との統一」の分解である。これをブレイヴァマンは「ある者が構想した観念

を他の者が実行に移すことが可能」になったと述べる<sup>4)</sup>。このことは、設計者と製造・製作に従事する者の分業化であり、また、プラントを設計するエンジニアリング企業が進める社会的分業の基盤である。

資本の統制下にある設計は、その設計思想において、製品・装置にたいし、機能・生産効率・低コストを重視し、安全性や公害を軽視する傾向にある。設計技術者の設計思想、すなわち、その構想の中に、心性のうちに人間性があることが問われる。

設計は、以前は、意図される製作物がかたちをもつ、機械や建築などの用語であった。しかし、1960年代、プロセス設計が唱えられ、プロセスの物質収支、熱収支、操作の計算、さらにこれのシステム解析と合成がなされ、これによる工程図を描くのが化学技術者の仕事になった。工程図によって、これを基礎にした詳細設計がなされ、機器や装置やプラントの形状・寸法が決められる。つまり、プラントの設計が行われる<sup>5)</sup>。

これまで偶然の発見に頼っていた触媒も、目的反応を設定し、反応機構を仮定し、部分反応の触媒成分の選択、全反応構成、触媒試作の手順で触媒設計が、次第に可能になった<sup>6)</sup>。

薬品のような分子単体の性質を効率よくみつけるのが分子設計である。さらに高分子や無機材料のような、多くの原子分子が集まって発現する性質を効率よくみつけるのが材料設計である。いずれもその設計は、蓄積されたデータと分子力学、配座解析などの理論にコンピュータ支援が駆使され、原子分子を選び、その構造・配列が決められる<sup>7)</sup>。

化学技術の広範な領域で設計が行われるようになったのは、つぎの理由による。① 化学、および、その工学の進歩は、自然法則性を体系づけ、利用できるデータの蓄積、方法論が確立した。② 意図する製品の製造、装置の製作は、その複雑さ、大型化によって、費用がかさむようになった。したがって、そのリスクを回避するためにも、設計が重視される。概念設計といわれる設計は、これによって、製品の開発費用、装置の製作・建設費用まで積

算し、設計の見直しや軌道修正を行いながら、計画の青写真、企業化の適否を判断する(かような計画・構想も設計の一つであろう)。③ プロセス設計・材料設計などの設計では、コンピュータ支援により、計算の迅速化、シミュレーションができるようになった。コンピュータが装置の代わりを、技術者の代わりをさえするようになった。

しかし、コンピュータの数字のみ頼ることが生産現場から得る経験を薄れさせ、しかも、余裕のない経済設計の危険のおそれがある。また、設計と製造・製作の分業化、構想と実行の分離は、製造・製作現場を知らない、偏った設計におちいる。

設計が技術の中心であると、武谷は述べたが、これは生産現場の技術をみる上で重要な指摘である<sup>8)</sup>。

設計は、労働主体が、自然の法則性を図面や仕様書に表して、客観的な知識として、労働主体の意志、あるいは、思想として、他の労働主体に伝え、これをもって製造・製作する。図面や仕様書になり難い技能と違い、技術は、第三者に理解できる設計図・設計仕様・運転要領書がつくられ、生産的実践に役立つのである。もちろん、設計には、経験や理論に照らし、データを読み、計算をし、しかも図面に仕上げる技能・熟練が必要である。

#### 〈化学工程の労働力編成〉

化学工程は、労働過程である。そこで化学労働による、分業にもとづく協業は、如何に行われているか。

化学労働の生産現場、つまり装置やプラントにおける作業は、大きくは二つに分けられる。一つは装置の設計・製作・保守、もう一つは、装置の運転・品質管理(分析)である。これらの作業では、プレイヴァマンのいう「構想と実行」の分離が進む。

この2種類の作業は、明治期の化学工場の一つ、日本窒素肥料のカーバイド、石灰窒素工場をみても、作業場内の分業として存在していた。岡本達明

によると、前者は、機械を自作・修理する鉄工部であり、「明治の職人の世界」であった。職人は、構想と実行を職人自身が行った<sup>9)</sup>。後者は、製造部であり、そのカーバイド炉では、炊き方・くべ番などと分業化し、苛酷で、しかも、それなりの熟練を要する職工の肉体労働であった。製造部における化学工程の「実行」、つまり操業は職工が担い、これの「構想」、つまり設計や運転管理は職工ではなかった。これを担ったのは、経営者であり、技術者である野口遵、藤山常一であった。製品の分析は学校出の技師が行った。後には、化学工程における構想は技師、実行は職工に移る<sup>10)</sup>。

大正から昭和にかけて、日本窒素肥料のアンモニア合成工場の化学労働は、岡本によると、「計器監視、弁操作労働に変わった」のである。そこでは運転工は、計容器・圧縮器・合成塔の3部署に分かれ、とくにアンモニア合成塔の運転は「頭脳労働」の様相を示したという。装置の修理は、修理部が行う<sup>11)</sup>。

化学工程の操作のシステム——原料・装置が変わると、労働の形態も、分業・協業の労働力編成も変わることが、日本窒素肥料の例でも示される。

さらに、化学工程と労働の形態と労働力編成を天然藍と初期の石鹼製造に例を求めると、藍の場合は、水師の技能と指図によって、特殊な道具を使って、職人が作業を進めた<sup>12)</sup>。

石鹼の場合は、親方職人の技能とその配下の徒弟によって、鹼化釜を用いて製造された。いずれの場合もマニファクチュア段階の化学労働である<sup>13)</sup>。

資本主義社会では、労働力編成は、化学工程における労働にたいする資本の統制の過程である。資本のあり方が、労働の統制のあり方も決める。日本窒素肥料の場合、マニファクチュア段階の石鹼、天然藍の場合を例にとるまでもない。

化学工程に組み込まれた操作は、原料物質が目的の製品になるまでの、物質変換の手順であるが、直接労働の作業の手順ではない。もちろん、化学工

程の操作の種類によって労働の分割，すなわち，作業場の分業は行われるわけではない。作業場，すなわち，装置内の化学労働である装置の運転は，諸操作の環境条件の設定である。前述したように，カーバイド炉の反応操作の環境設定は，制御は炊き方・くべ番の人力と技能によった。アンモニア合成では，反応操作の環境設定は温度・圧力・濃度（流量）によるため，運転工の計器監視・弁操作労働になる。

化学工程における作業場の分業，すなわち労働力編成は，作業員（オペレータ）による操作の環境設定が円滑に，しかも資本の統制下にあるように決められる。システム化され，自動制御化された化学工程では，分業による熟練よりは，オペレータに工程全体を把握できる熟練が，分業にもとづく協業よりは，協業にもとづく分業が望まれる<sup>14)</sup>。

化学工程における作業場の分業は，よりひろがりをもった社会的分業へと移行している。装置の設計・製作・建設・保守は，自社の作業場でなく，エンジニアリング企業や，保守作業を行う，いわゆる協力会社の作業場において，社会的分業として進められる。新製品の研究開発においても，研究機関への依託，共同研究，あるいは技術の購入などは社会的分業の一つである。

工程とその分業について，中村静治，中岡哲郎の論争がある。論争への筆者の意見は控えるが，両氏と小論とは工程の見解が異なる。また，両氏がとりあげる，武谷三男がいう工程は，両氏の理解とは異なる。

中村静治は，「工程とは労働対象が生産物となるまでに通過する段階のことで，この段階がいくつに区切られるかは，ひとえに労働手段の量と質，ことに道具の分化・特殊化にかかっている。」そして，労働手段が工程を規定するとみる<sup>15)</sup>。

また，中岡哲郎は「工程という概念は，分業にもとづく協業という工場生産の特徴を圧縮した概念である。要素に分解され専門の作業員によって行われるようになった作業を，加工の順序，つまり製品の移動の経路に再編成したものが工程である」<sup>16)</sup>と述べる。

中岡はまた、工程に組み込まれている要素作業の例をあげ、「化学工業を例にとれば、粉碎、輸送、混合、攪拌、……、蒸留、晶析、反応等等単位操作とよばれる」とみる<sup>17)</sup>。しかし、中岡が述べるように、生産現場では、単位操作を要素作業として、労働は分割されていない。

小論の化学工程は生産工程の一つであり、化学的な労働過程である。両氏の工程は狭い意味の工程である。とくに、機械工場では、中村の意味で使用する。すでに述べたように、小論の操作は、中岡のいうような、労働の分割、専門の作業者を必要とする要素作業としてみていない<sup>18)</sup>。

#### 〈原料・装置と生きた労働〉

化学工程の諸操作のシステムは、労働主体の目的にかなった原料・装置によって実現される。

装置は、後述するが、化学工程の諸操作のシステムを具現化している。その具現化の手順は、化学工程の設計に始まり、工程を構成する機器・計器・配管などの詳細設計、そしてこれらの製作、さらに、工場用地にて、土木・基礎工事、機器の組立、配管工事などを経て、装置が完成する。いま述べた、装置の具現化する手順は、装置の設計・製作・建設を経るが、それぞれの段階で、たとえば、設計法・製作材料・溶接などの検討、そしてコストの検討も加えて目的にかなうような取捨選択が行われる。

原料にしても、その選択は、化学工程と照らし合わせ、コストも加味した取捨選択を行う。

マルクスは、原料や装置を対象化した労働と呼び、つぎのように述べる。「労働過程では、対象化された労働は、生きている労働の実現のため対象的な契機として、要素として現れる。」<sup>19)</sup>

化学工程は、労働主体による生きている労働が、原料を装置に結びつける過程である。それは、資本制生産過程では、つぎのマルクスの言葉のように、価値形成・価値増殖の過程でもある。

「対象化された労働は、生きている労働を吸収することによって資本に転化する」<sup>20)</sup>。

〈労働を介して生じた系列秩序〉

化学工程にみる諸操作の系列秩序は、自然の法則性によって規定される。しかしながら、この自然の法則性は、人間の生産的実践、労働主体の労働によって、法則性が把握され、その必然性の進行が制御できると、この面からも規定される。言い換えると、化学工程は、人間が手段を通して対象の自然に働きかけることによって、労働を介して生じた人間の側の系列秩序と、自然の側にある系列秩序とを融合させることによる、新しい必然的な対象化された系列秩序である<sup>21)</sup>。

〈化学工程のシステム転換と改良〉

新しい化学技術、これの新しい発明は、化学工程のシステム（プロセスシステム）の転換である。これは反応操作を軸に進められる。新しい化学反応と反応操作は、一連の諸操作のシステムを変え、それにふさわしい原料・装置に変える。反応操作は、また、これを可能にする原料・装置によって実現されるから、原料と装置の側からみると、これらが発展の契機ともいえる。

諸操作と原料・装置の技術は相互に関連している。反応操作と諸操作の解明が進むと、労働主体は、それを技術知識として受け入れ、新しい諸操作のシステム、原料の新しい利用形態、適応した装置を化学工程にとり入れる。新しい化学工程はまた、労働力編成も新たにする。

かような、化学工程のシステムの転換は、労働主体による新たな目的の設定と、これを実現しようとする労働主体の心性にもよるが、技術の蓄積が基盤になる。このことについては、化学工程の時代区分の章で後述する。

化学工程のシステム転換は、根本的な化学工程の改善であり、これは設計からやり直して装置をつくり替えねばならない。これは、装置のスクラッ

プ・アンド・ビルドであり、他の工業や技術ではみられない、化学技術の一つの特徴である。部分的な化学工程の改善は、装置を運転後、設計のデータ不足によって、これを構成する機器の能力に過不足が生ずるので手直しが必要になる。また、安定した運転と製品の品質管理のため、外乱の摘出と、その対応が必要である。この改善は、工程を管理する技術者によるばかりか、現場のオペレータの積極的な協力と能力に負うところが大きい<sup>22)</sup>。

化学工程の改善は、根本的であろうが、部分的であろうが、その目的は、生産性と効率の向上にある。これをいくつか挙げる。

① 原料の節約、ユーティリティの節約（省エネルギー）、廃棄物の減少、人件費の節約、品質の向上などである。

② 工程の短縮である。これは、松浦保によると、製造サイクル効率（＝加工時間/通過時間）の向上である。ここで、通過時間＝加工時間＋検査時間＋移動時間＋待ち時間である。製造サイクル効率は、機械加工の生産工程に当てはめると理解し易い。化学工程でも、これは回分式の工程が連続式の工程に変わる理由になろう。連続式の化学工程では、松浦が示した加工時間は物質変換の諸操作であり、検査・移動・待ち時間は、先の物質変換の諸操作に組み込まれているとみてよからう。連続式の化学工程では、通過時間と加工時間（物質変換時間）が等しくなるとみてよい。化学工程にて、物質変換時間も通過時間も短縮することは、組み込まれている操作を省くことであり、諸操作のシステムを組み替えることである。また、諸操作の効率、すなわち、反応速度・物質移動速度・熱移動速度を速める仕掛けを装置に備えることになる。松浦は、製造サイクル効率の向上は、生産現場における作業員参加の品質の重視、時間の重視、改善を工程にとり入れることであると述べる<sup>23)</sup>。

工程の短縮の例をあげると、三井石油化学工業のポリエチレン重合における無灰プロセスがある。これは、触媒の改良によって触媒の分離工程が不用になった。その結果、触媒の洗浄廃水も排出しない<sup>24)</sup>。

## 〈工程図と配置図〉

化学工程を図示したのが工程図（フローシートともいう）である。この図によって、目的の化学処理・化学製品に関わる諸操作のシステムが視覚的に、把握できる。また、図は、諸操作を具現化した機器のかたち、計器の記号化によって、より視覚化する。前述した化学技術で重要なプロセス設計も、工程図を描くことである。

工程図は、反応物が製品に変換する過程が記述されるので、物質収支と諸操作に消費される熱収支がとられる。

副生物は、目的の生成物以外に反応物から必ずできる。したがって、その収支は、生成物と副生物の重量の和が反応物の重量と同じである。しかし、微量の副生物は、生成物の収率に無関係なので、収支では無視され、廃棄されて汚染源になる。水俣病の汚染源である有機水銀も、その例になる。

微量の副生物の発生源と、その収支まで記述した工程図を描くことは（これをネガティブフローと呼ぶ）、公害対策に大事である<sup>25)</sup>。

工程図には、そこで使用される装置の機器の形状（主要な寸法の記入）、計装、配管（パイプやバルブの種類と寸法の記入）を描いた詳細系統図がある。これは、プラントの設計・製作・建設のために作成される。この図は、とくに石油精製・石油化学工業の生産現場では、配管、計装と機器の関連が重視されるため用いられる。

また、工程図は、装置を安全に運転する立場から、バルブや計器の種類・位置を検討する必要がある。しかし、プラントの爆発事故の多くの原因は、この検討をおろそかにした結果とみられる<sup>26)</sup>。

装置やプラントの配置は、工程図に描かれた操作・機器によって決められ、これが配置図として描かれる。プラントの機器は、原料から製品の流れに従って配置され、そこに配置された機器や計器は、さらに操作の特性と運転の安全性、建設・保守の容易性によって調整される。

工程図も配置図も、生きた労働と装置・原料との結びつきかたを示して

いる。

〔註〕

- 1) 「化学労働」なる用語は、山本潔が「科学労働に関する一考察」『社会科学研究』36巻1, 2号, 40巻4号にて言及している。
- 2) 前掲『資本論』232ページ
- 3) 三枝博音『技術の哲学』岩波書店(1952), 141, 214ページ
- 4) H. プレイヴァマン, 富沢賢治訳『労働と独占資本』岩波書店(1978), 55ページ
- 5) プラント設計の手順については, 拙著『エンジニアリング産業』東洋経済新報社(1980), 61-100ページに詳しく述べている。
- 6) 米田幸夫・御園生誠, 『化学総説』No. 34 (1982), 学会出版センター, 2ページ  
医4,
- 7) 佐々木慎一, 『化学と工業』44巻5号(1991), 40ページ
- 8) 武谷三男, 前掲『著作集』第1巻, 140ページ
- 9) 職人の労働は「構想と実行」が分離していない。岡本の『聞書水俣民衆史』二によると, 機械課長島田鹿三は, 「無学の天才的な職人上がりの技師」であった。彼は設計図を頭の中に語っていた。プレイヴァマンによれば, エンジニアの出現する前は, 構想し設計するような機能は熟練労働者の領域に属するものであったという。同書, 148ページ
- 10) 岡本達明・松崎次夫『聞書水俣民衆史』二, 草風館(1989), 93, 62ページ
- 11) 岡本達明, 同上書四, 29, 45ページ, 岡本, 『化学史研究』17巻1号(1990)
- 12) 三木興吉郎『阿波藍の栽培及製法』三木産業(1960), 118, 140ページ
- 13) 山本潔, 『社会科学研究』40巻4号, 143ページ
- 14) アンモニア工場の労働力編成の例は, 山本潔, 『社会科学研究』36巻1, 2号(1984), 石油化学工業の事例は, 小林謙一, 『日本労働協会雑誌』1974年2月, 3月号に記載されている。
- 15) 中村静治『技術論入門』有斐閣(1977), 158ページ
- 16) 中岡哲郎『工場の哲学』平凡社(1971), 32ページ
- 17) 中岡哲郎『技術を考える13章』日本評論社(1979), 145ページ
- 18) 工程管理をスケジュール管理の意味に使うこともある。村田富二郎は, 化学工業における工程管理は運転の方法を制定する仕事であるとして, 正常運転にたいする外乱の摘出とそれに対応するのが仕事の一つであるという。前掲『化学工業概論』113ページ。単位操作の概念は, テーラーの影響を受けているとの説もある。しかし, ベックマンの一般技術学の考えを受けついでいるとの加藤邦興の指摘が正しく思われる。加藤邦興『化学の技術史』オーム社(1980), 133ページ

- 19) マルクス, 前掲『直接的生産過程の諸結果』38 ページ
- 20) マルクス, 同上書, 40 ページ
- 21) 中井浩『中井正一 論理とその実践』てんびん社(1972), 291 ページでは「技術は合目的労働が手段を通して対象に働きかけ, 対象側にみる要素の系列(結合)を人間側の要素の系列の中の秩序で結びつけることによる, 新しい必然的な秩序の発生である。」と述べる。
- 22) 伊丹敬之は, 現場の労働者には装置がブラックボックスなので, 改良の創意は活かしづらい, また装置はパイプでつながれているから, 部分改良が困難と指摘するが, 全くの誤りである。伊丹敬之『日本の化学産業, なぜ世界に立ち遅れたのか』NTT 出版(1991), 172 ページ
- 23) 松浦保, 『化学経済』1991年4月号, 40 ページ
- 24) 拙著『日本の化学技術』工業調査会(1981), 276 ページ
- 25) 内村瞭治編『石油文明と公害』技術と人間社(1973)。この本はネガティブフローの視点から匿名で筆者が記述した。
- 26) たとえば, 1973年, 出光石油化学のエチレン工場の爆発もその一つである。このことは, 町原信が「コンビナートは安全か」『経済評論』22巻11号で触れている。

#### 4. 化学労働

化学労働の特徴は, 労働主体による, 化学工程の諸操作の環境条件の設定であることは, すでに述べた。反応操作や熱移動・物質移動操作の装置の運転は, 環境条件である温度・圧力・流量の制御であるから, 計器の監視と弁の開閉になる。

例をあげると, 初期のアンモニア合成は, 計器を監視しながら, 人手によって弁の開閉をカンとコツで行った<sup>1)</sup>。これが調節計器・調節弁の使用によって, 弁の開閉, 記録は自動化され, 作業者は計器を監視するだけの単調な仕事に変わった。弁開閉のカンやコツによる技能・熟練は, 不用になった。しかし, 作業員(オペレータ)は化学工程にたいする知識が求められる。装置の自動化が進んで, オペレータが少なくなっても, 装置の異常や事故に対処できる能力, つまり技術・技能をもった人員が必要である。

プレイヴァマンやブラウナーによると、化学労働は、装置の自動化によって半熟練のオペレータで充足される。これは装置内を流れる物質が、目に見えないこと、計器の監視だけの単純な労働であることを理由にあげる<sup>2)</sup>。しかし、この指摘は、前述したようにオペレータに技術知識を求めるわが国では当を得ない。

プレイヴァマンは、装置の自動化にたいして、「この資本主義の『進歩』は、労働者と機械との間の裂け目を深め、労働者をますます決定的に機械のくびきに従属させる」と述べる<sup>3)</sup>。化学工程における労働の「構想と実行」が分断され、創意を必要とする設計・構想と、一方、運転マニュアル通りに運転すればよい単調な実行は、労働を退化させる。しかし、わが国の化学労働において、プレイヴァマンの指摘が、必ずしも当てはまるとは思えない。

わが国では、装置がシステム化、自動化していることから、装置全体に目配りし、安定した運転を自発的にさせる TQC 運動、現場からの装置や運転にたいする改善提案などは、労働における「構想と実行」の統一を求める動きがある。わが国の化学企業では、通常、生産現場と研究開発部門の情報交換、一体化がとられるのもその表れである。このため、オペレータには、高度な技術と技能が求められる。また、これは市場の要求に応え、いち早く、柔軟に生産できるような労働力編成になる。

すでに述べたように、化学労働の労働力編成は、化学工程に従っていること、また資本による統制である。わが国の「全員参加」労働は、「構想と実行の統一」の乖離による労働意欲の喪失、あるいは労働の退化に対処したものとみられるが、これは、やはり、資本による労働の統制であることは論をまたない。

装置が自動化され、コンビナートの工場群のみでなく、市場までネットワーク化されていることからみて、一装置の休止も認めるわけにはいかない、安定した運転ができるように、コンビナートの労働は管理・統制されている。

化学労働に従事する場合、研究、あるいはプラントの設計、運転管理、分析というような職種が多様である。これらの職種は、さらに専門化・細分化する。たとえば、プラントの設計にしても、プロセス設計と配管設計、計装設計……と分かれる。これらの各設計を一つの構想にまとめるためプロジェクトエンジニアを必要とする。専門化・細分化した化学労働を管理・統制する手法が求められる<sup>4)</sup>。

化学労働の作業場は、化学工程における原料・製品の多くが、危険物や有害物なので、爆発や職業病（化学症）のおそれが常につきまとう。これは、化学工場以外にはみられない、大きな特徴である<sup>5)</sup>。

〔註〕

- 1) 岡本達明、『化学史研究』17巻1号（1990）、アンモニアおよび酢酸合成工場の合成化学労働の初期形態が具体的に記述されている。
- 2) プレイヴァマン、前掲書、248-249ページ、R.ブラウナー、佐藤慶幸監訳『労働における疎外と自由』新泉社（1975）、213-238ページ
- 3) プレイヴァマン、前掲書、254ページ
- 4) プロジェクトエンジニアについては、拙著、前掲『エンジニアリング産業』87ページをみる。化学企業の技術者の仕事は、星野芳郎編『日本の技術者』勁草書房（1974）、87ページにて、井沢勉が具体的に述べている。
- 5) 拙著、前掲『日本の化学技術』では、コークス炉前の一酸化炭素中毒、レーヨン工場の二硫化炭素中毒について述べている。岡本達明、前掲『聞書水俣民衆史』二は、酢酸、アンモニア合成工場の爆発、カーバイド工場の劣悪なる作業条件を聞き書きする。服部良子は、『大阪市立大学生活科学部紀要』53巻にて、19世紀のイギリス化学工場（ICI）の作業条件と労働政策を論述する。横瀬浜三『化学症』三省堂（1977）には、化学症が詳しく述べられている。

## 5. 化学装置

### (1) 化学装置の特徴と発展

化学装置は、化学工程における労働手段である。

「労働手段は、労働者が自己と労働対象とのあいだに置き、この対象にたいする彼の活動の導体として彼に役立つ、物または諸物の複合体である。労働者は、物の機械的、物理的、化学的属性を利用して、それらを彼の目的に応じて、他の物におよぼす力的手段として作用させる。」とマルクスは述べる<sup>1)</sup>。

さらにマルクスは、化学工業に用いられる労働手段の特徴を述べる。「労働手段そのもののうちでは、その総体を生産の骨格系統および筋肉系統と名づける機械的労働手段は、労働対象の容器としてのみ役立つような、その総体がきわめて一般的に、生産の脈管系統とよばれるような労働手段、たとえば管、槽、籠、壺などよりも、はるかに決定的な社会的な社会的生産時代の特徴を示す。これらの容器は化学工業において、はじめて重要な役割を演ずるのである。」<sup>2)</sup>

現代の化学技術に照らして、化学装置の特徴をみると、これは、つぎの3点に要約できる。

- (a) 装置は、化学工程の条件を規定し、これを具現化した労働手段である。
- (b) 化学工程を構成する諸操作は、それぞれが、諸操作の機能を発揮する単位機器として装置を構成する。
- (c) 装置を構成する機器は、物質系の維持（諸操作の環境条件）、諸操作の状態変化を進行・制御するため、容器的な形状になっている。

まず、第一に、装置は化学工程の条件を規定し、これを具現化して労働手段になる点を述べる。

化学工程は、労働主体が、労働対象の原料を化学処理する方法、化学製品の製造法であり、諸操作による物質変換のシステムである。原料にたいして、この諸操作のシステムを目的実現のための導体として、手段として役立たせた諸物の複合体が装置である。すでに述べたように、装置は化学工程を装置に具現化する手順に従って、すなわち、これの設計・製作・建設によっ

て、諸物の複合体になる。

諸物の複合体である装置は、化学工程にある諸操作を単位機器として置き換えた、単位機器のシステムである。

装置の発展は、その構成からみると、単純な容器の機器と道具である場合、複合された機器の化学機械の場合、システム化、計装による自動化・連続化された機器の装置の場合の系譜がある。これについては、後述する化学工程の時代区分に表記する。装置の構成と発展は、化学工程に規定されるとみたい。

工程図と配置図は、諸操作を具現化した機器・計器・配管の系統と配置を図示し、そして、労働主体が装置をもって原料に働きかける仕方を示す。

工程図と配置図にもとづいて、装置は設計・製作・建設される。石油化学の場合、これが連続式がとられるため、パイプで結合した塔・槽が立ち並び、計器が装備された装置になる。

石油化学の装置のように、決まった原料によって、同じ製品を多量につくると、多品種少量生産する装置、市場や原料の変化に柔軟に対応する装置とは自ずと異なる。そこでは装置を汎用的に使用するため、多品種の製品の混入を防止する対策、諸操作の環境条件の設定をコンピュータにて制御する方策がとられる。その装置は工程を自由に組み替えられるようにした、反応器を固定せずに反応器を取り外し移動する、パイプレスな「組替え自在型プラント」が試みられている<sup>3)</sup>。

第二に、化学工程を構成する諸操作は、それぞれが、諸操作の機能を発揮する単位機器として装置を構成する点を述べよう。

諸操作、たとえば反応操作は反応器に（反応の種類によっては、アンモニア合成塔、重合槽など）、物質移動操作の蒸留操作は蒸留塔に、吸収操作は吸収塔に、熱移動操作の加熱・冷却操作は加熱器や冷却器、あるいは熱交換器に、また、機械的操作の中の物量移動操作はポンプ・送風器に、攪拌操作

は攪拌機にというように、諸操作の機能を発揮する、諸物の複合体である単位機器に置き換えられる。

単位機器は、諸操作の機能を発揮する仕組みと仕掛けを備える。これについて述べる。

① 単位機器は、操作の環境条件を決め、そこに到達する速度を速める仕掛けを備える。

反応操作、物質移動・熱移動の操作は、操作の目的とする環境条件（温度・圧力・組成）を与えると、それぞれの推進力によって、目的とする変化の状態、すなわち、平衡状態（温度・組成）に到達する。推進力は高いところから、低いところに向かう勾配であり、反応操作の場合は化学ポテンシャル、物質移動操作は濃度差、熱移動操作は温度差である。このことは前述した。

操作の目的とする状態、平衡状態は、操作の推進力を阻害する障壁や阻止する抵抗のため、平衡状態の温度・組成に到達する時間、すなわち、速度が遅くなる。効率よく、限られた時間内で速く、操作の平衡状態に接近させるには、つまり速度を速めるには、推進力の勾配を大きくすると同時に障壁や抵抗を小さくしなければならない。操作の移動速度にたいする抵抗は物質移動係数・熱伝達係数などに示され、相の界面における拡散、流体の流れ具合などの因子が絡んでいる。このため、流体を乱流状態にしたり、接触面積を大きくする手だてがとられる。

反応・物質移動・熱移動の各操作の機器には、推進力の勾配を大きくし、抵抗を小さくして、操作の速度を速めるような仕掛けを備え、機器の容量・形状も、これによって決められる。

② 反応器を例にとると、反応器は、生成物の量を多くするためには、化学ポテンシャルの勾配を大きくとれる高温・高圧の操作条件をつくることになる。そのため、たとえば、アンモニア合成塔のように、高圧・高温に耐える合金製の反応器（容器）と高圧にするためのコンプレッサーが使用され

る。エチレン製造の反応炉は、原料ナフサを約 1000°C に加熱・分解するため、ナフサを細管内に流して、外部から加熱する方式がとられる。

生物化学反応では、工業化されたものに、発酵槽がある。槽はガラスライニング製、あるいはステンレス製であり、常圧・常温の条件にて、温度を一定にするための冷却管、空気を気泡にする装置、攪拌機、外部からの雑菌の混入を防止する装置が装備される。生物化学による反応器（バイオリクター）の構造と形態は、まだ、生物に似ていない。しかし、バイオリクターには、生物素材（酵素、微生物、動・植物細胞）が組み込まれている。

触媒は、化学ポテンシャルの障壁を低くし、活性化エネルギーを与え、反応速度を速める手段として用いられる。触媒は反応器に付随し、反応器と同じく労働手段である。

反応器は、化学反応が物質移動操作を介して進行するので、物質移動の抵抗を小さくするような（たとえば、器内を攪拌機によって攪拌して、反応物質の流体の乱れや反応物相互の接触面積を大きくする）操作や仕掛けを備える。

反応操作には、加熱以外に冷却を必要とするので、反応器には冷却器も組み込まれている場合がある。たとえば、塩化ビニルの重合槽は、槽の内部、または、外部に冷却器を取り付け、槽内の攪拌器は重合反応を促進すると同時に、冷却のための熱移動を進行する役割を果たしている。また、重合槽の内面には、重合によるスケールが付着し、冷却器からの熱移動の抵抗になるので、付着防止、除去作業を必要とする。

反応器の特徴ある形態として、固相（固体）と気相（気体）を反応させる流動層反応器がある。これは、反応器の下部から、気体（空気やガス化した石油など）を送り、これに固体（原料物質や触媒）を浮遊・流動させて、反応（焼却・熱分解・重合など）させる。この方式がとられるのは、固体が気体中を流動するため、これらの間の接触がよくなり、固相（固体）と気相（気体）間の物質移動・熱移動の進行と制御が容易になるためである。この

反応器の例には、ガソリン製造の流動接触分解装置がある。

③ 物質移動操作の一つ、蒸留塔は、物質移動操作の推進力、濃度差をとるため、加熱・冷却や減圧・加圧を行って、塔頂と塔底に濃度差である蒸気圧差がとられて、塔頂の蒸気成分と塔底の液成分が分離される。蒸留塔は、横型の槽ではなく、塔になるのは、上昇する蒸気と重力によって降下する液とを接触させるためである。吸収塔はガス下部から送り、上部から吸収液を下降させ、接触を図る。装置の形状はそれなりの理由がある。蒸留塔の内部には、小穴やバブルキャップなどを取り付けた棚板が数段から数十段も設置されている。棚段は、塔内を上昇する気相と下降する液相の接触や流れの具合をよくし、物質移動・熱移動を進める仕掛けである。蒸留塔には、塔底液を加熱する加熱器（リボイラー）、塔頂の蒸気を凝縮させる凝縮器（冷却器）が付随する。また、塔頂に還流液を送る還流ポンプは、塔頂の蒸気成分濃度を濃縮し、さらに、塔頂から降下する還流液と上昇する蒸気を接触させて物質移動を進行させる。

④ 熱移動操作の機器——冷却器・熱交換器などにおいて、その構造が、高温流体・低温流体を管内と管外に流すようになっているのは、管の外面・内面の面積、つまり伝熱面積を大きくとれる点と、熱移動の抵抗を小さくできる点にある。また、推進力の温度差をとるために、これらの機器では、高温流体と低温流体を向流に流す。

⑤ 機械的操作の機器——ポンプ・粉碎機などにおける推進力は、以上あげた操作の機器においては熱力学的な勾配が推進力であるのとは違って、機械的な力である。機械的操作における操作の目的は、物体の移動・変形である。その目的のため、遠心力や衝撃などの機械的力が物体に加えられる。この機械力にたいし、物体がもつぎのような性質——粘度・応力・硬度・強度や流体抵抗・粉碎抵抗などといった、ある種の抵抗がある。機械的操作の機器には、これらを小さくして、効率をあげる仕掛けが備えられている。

⑥ 前に、触媒は反応器に付随していて労働手段であると述べた。これに

類似した物体には、水銀電解装置の水銀がある。また、カーバイド炉の炭素電極がある。水銀電解装置の水銀は電極の役割とソーダをアマルガムとして取り出す役割をもっている。この時、水銀はマッドとなって老化して廃棄物になるが、製品には転化されない。炭素電極は使用すると費消される。吸着装置や乾燥器に使用される、炭素・シリカゲルなどもこれらの機器に付随しており、これがないと、この操作は進行しない。吸着剤は、老化はするが、原則的には再生利用される。吸収塔に使用される吸収油・吸収液は、これが吸収操作の効率を決め、再生使用される。カネミオイル事件の時、脱臭装置に使用された熱媒体油は、脱臭塔を加熱するための媒体であり、加熱器に付随する。

触媒・電解水銀・吸着剤・吸収油・吸収液・熱媒体油などは、それぞれの機器に付随して、労働対象の原料に作用するが、製品に転化されない（これが製品に混入するとカネミオイル事件になる）。これは労働手段である。しかし、これらは、生産現場のしきたりでは、副原料、あるいはユーティリティーとして扱われている。

⑦ 単位機器は、原料の状態を変化させる、すなわち操作を進める操作部分と、操作を進行させるためのエネルギー供給部分、これらの2部分を制御する部分の3部分から成り立っている。装置は、個々の操作、エネルギー供給、制御を統合したシステムである。

反応器には、反応物相互の接触をよくするような反応操作を進行させる仕掛けが備えられていることは前述した。物質移動操作の蒸留塔に棚段があるのも、その操作を進行させる仕掛けの例である。反応器内の反応を進行させるには、かような操作の仕掛けに併せて、反応を活性化するエネルギー、すなわち、熱・光・電気などが必要である。蒸留塔にしても、加熱器からの熱エネルギーの供給によって、その操作は進行する。

⑧ 繰り返すまでもなく、反応器や物質移動操作の機器——蒸留塔・吸収塔などの操作は、温度・圧力・組成によって、その操作が進行・制御される

ので、温度の制御は熱エネルギーの供給による制御（加熱器などによる）であり、圧力は機械的エネルギーの供給による制御（コンプレッサーなどによる）、組成は原料の供給による制御（人力・ポンプなどによる）である。そして、これは制御システムとして付随し、その構成は検出部・調節部・操作部のシステムからなっていることは前述した。この制御システムは、検出部は温度計・圧力計・流量計などが対応し、調節部は調節器、操作部は調節弁が対応する。

⑨ 機械的操作の機器は、粉碎・遠心分離などの操作部とこれを動かすエネルギー供給部、原料や製品によって機械的な力を制御する部分からなっている。

機械的操作の機器は、機械的な力の利用であるから、当然、可動部があり、反応・物質移動・熱移動操作の機器は熱力学の利用であるから可動部が少ない。しかし、原料供給・製品輸送のポンプ、ブローア、加圧用のコンプレッサーなどは反応器や蒸留塔などの操作とは不可分の関係にある。

⑩ マルクスは、「すべての発達した機械装置は、三つの本質的に異なる部分から成る。動力機、配力機構、最後に道具機、または作業機がそれである。」と述べる<sup>4)</sup>。

この言葉をもって装置をみると、装置は、作業機である操作部と、動力機に当たるエネルギー供給部と、配力機構である制御部の、三つの異なる部分のシステム構成である。

装置の構成の発展を化学工程からみると、後述するように、「容器と道具」の構成から、単位機器と計器の複合である「化学機械」、単位機器の計装化・システム化・統合された装置、さらに、装置は、いくつかの装置をネットワークにしたコンビナートとの「化学プラント」へと進展した。

⑪ 装置の改良は、根本的には、反応操作の改良をとまなう化学工程の改良である。多くの改良は、生産現場において、装置の運転の結果わかる装置の不具合である。これは設計データ不備による能力不足、または能力過剰、

運転の困難、運転の危険、装置材料の腐食などによる部分改良である。装置の運転データの解析とこれによる装置の改良は技術の進歩において大事である。

⑫ 化学プラントは複数の装置の他に、発電設備、輸送・貯蔵設備、給水設備、消火設備、公害防止設備（これは装置内に組み込まれていることもある）などがある。化学製品は中間製品・素材であることが多いので、これをさらに加工処理する装置も、一連の化学プラントとみなした方がよい。たとえば、プラスチック成型加工機は、たとえ他企業にあっても、プラスチック素材を供給する企業に合うようにつくられている。

第三は、装置を構成する機器は、系の維持、諸操作の状態変化を進行・制御するため、容器的な形状になっている点を述べる。

化学装置を構成する機器は、槽・塔・管というような容器的な形状になっている。その理由、その構成材料、製作技術、その経済効果について述べる。これはまた、装置の発展の第二の要因になる。

① 操作の環境条件を維持するため、原料物質・中間製品を保持する容器を必要とする。

反応操作や物質移動操作を進行・制御しながら、物質変換を行うには、操作の対象にしている物質系の環境条件、すなわち、温度・圧力・組成を維持する必要がある。したがって、装置は、物質系を取り囲む外界（環境）と区切って、系と操作の環境条件である温度・圧力・組成を維持するためには、容器にならざるをえない。

換言すると、装置の容器的性格は、物質系の温度・圧力・組成の一定の状態、あるいは平衡状態を保つための、外的な条件、環境条件の手段・方法であり、また、新たな平衡状態、つまり物質変換させる環境条件の設定のための手段・方法である。

装置が容器状になるのは、反応・物質移動操作の環境条件の維持のみでは

ない。原料物質の輸送・貯蔵のため、とくに、これが気体、液体、あるいは、粉体である場合、槽や管が使用される。

化学装置の形状が容器的な性格をもつのは、工程が物質変換を目的とした、反応・物質移動操作を主とした構成のためである。石油精製・石油化学工業の装置において、塔と槽と配管で構成されるのは、原料物質が流体である点と原料や生成物の分離のため蒸留操作が多用されているからである。

② 装置の容器的性格による形状とその大小は、装置の大型化、すなわちスケールアップする場合、装置の運転成績、効率に規模の影響を与える。

原料物質は、マクロな分子の集団の相として挙動するので、装置（容器）内では、その分子の挙動・流れは、当然とはいえ、装置（容器）の形状・大小によって影響され、装置内の物質の各部分は、一様ではなく、不均一になる。小さい装置（容器）で成功しても、装置（容器）を大きくすると、装置（容器）の横方向・縦方向の距離が違うから、分子の移動速度も流れの形態も異なり、大きい装置で成功するとは限らない。小さい装置の形状を幾何学的相似で拡大しても、装置内に起こる全ての部分の物質移動操作、熱移動操作、とくに反応操作を制御することは困難である。逆に、小さい装置では、反応が不具合でも、スケールアップを行うと成功する場合もある。

装置のスケールアップの技術において、装置の幾何学的相似と反応操作や物質移動・熱移動操作の関連が解明されるようになった。物質移動・熱移動操作の機器——蒸留塔・吸収塔・熱交換器などのスケールアップは、物性（比重・比熱・粘度・蒸気圧・溶解度など）データによって、小型装置による実験をしなくても設計が可能になった<sup>5)</sup>。反応器のスケールアップは、規模の影響に不明の点があるので、小型装置による実験データが、まだ必要である。しかし、この実験も、コンピュータによるシミュレーションによって、実験を省略し、大型の実際の装置が設計されるようになった。

化学技術の特色の一つは、装置のスケールアップであり、それには手順がある。その手順は、実験室の化学実験——ビーカーテストの結果（化学反応

の結果)を、ベンチスケール規模の実験に移して、ピーカーテストの結果を再確認し、さらに、これをパイロットプラントにて目的の製品を生産して、製品の品質とこれによる市場調査、装置の運転方法、建設資金などを確かめ、この結果にもとづいて、実際の大規模装置が設計・建設される<sup>6)</sup>。

③ 装置の機器・配管の製作は製作材料と製缶・溶接技術が重視される。

装置の各機器は、その容器的性格から機器の壁となる材料が重視され、耐食性や高温・低温・高圧に耐える材料が求められる。新しい材料の開発は、新しい反応操作を化学工程にとり入れることができ、そのシステムの転換になる。

古くは、ガラスフラスコによる硫酸製造が、鉛材料を装置に用いた鉛室法硫酸製造に工程が転換してもたらされた硫酸の量産はその例である。また、アンモニア合成反応器における材料、すなわち、高圧、高温、耐水素脆性の合金開発は、この工程を可能にした。

塔・槽の製作は、鋳造、鍛造、あるいは曲げ加工などによって形状がつけられ、この接合は、リベット継手、鍛接、各種の溶接が用いられる。とくに、近年、溶接技術とその検査技術にたよることが多い。

塔・槽の製作は、一般に製缶作業といわれる(ボイラー製作が典型例)。この作業は、機械加工による寸法・精度よりは、構造や強度を重視する。コンプレッサーやポンプなどの製作は、機械加工に属する。石油精製・石油化学工業の装置は、配管工事の比重が高く、パイプやバルブの取り付け・製作は現場の溶接工事が主である。

④ 装置の容器的性格はまた、装置の大型化による製作費・建設費に経済効果を生ずる。

装置の容器的性格は、装置の大型化による製作費・建設費の節約の点にもみることができる。すなわち、容器を大きくすると、その内容積は立方(三乗)で増大するが、容器の外壁、つまり表面積は二乗にしか増大しない。内容積を生産能力とみると、表面積である外壁は、材料費・製作費になる。生

産能力が三乗に増大しても、製作費・建設費の増大する割合は二乗になり、生産能力に較べて小さい。つまり、製作費・建設費は生産能力の1/3に逆比例する。たとえば、50トンの装置の製作費が7億円であると、2倍の能力の100トンの装置の製作費は、 $7 \text{億} \times 2^{2/3} = 11 \text{億円}$ になる。装置が大型化すると製作費や建設費は割安になる。したがって、装置の操業率をもって決めべき筈の装置能力にたいし、製作費の割安をもって過剰能力の装置が、わが国では建設される。このことについては稿を改める。

装置の大型化には設計・製作の限度がある。たとえば、エチレン製造装置は、30万—50万トン/年と大型化するが、この装置を構成する分解炉（反応器）は、これ自体も大型化したが、設計・製作の限度のため、数基の分解炉に分け、並列に設置される。

〔註〕

- 1) 前掲『資本論』231 ページ
- 2) 同上書、234 ページ
- 3) 渡辺徳二・松浦保・佐藤正弥、『経済評論』40巻12号（1991）、98 ページ、船本修・中本斐雄、『化学工学』54巻12号（1990）、893 ページ
- 4) 前掲『資本論』475 ページ
- 5) 森川清『化学工程要論』日刊工業出版（1960）、128 ページ、装置の規模の影響について、実際の経験と独自の思想をもって述べた、先駆的な著書である。
- 6) 基礎的な研究から、プロセス設計を経て、装置の設計・積算・製作・建設にいたるまでの手順に沿って、細分化と総合化の労働力編成が必要になる。

## (2) 化学装置をめぐる諸説

諸家の化学装置の規定を紹介して、筆者の意見を述べる。

諸家の化学装置の規定は、諸家の技術にたいする規定と関わっている。小論は、武谷の規定する技術に則り、化学装置を生産現場の視点に立って検討し、論述した。

中村静治は、武谷の技術の規定を批判し、つぎのように規定する。「技術とは物質的財貨の生産を目的として自然の物質に働きかけさせるために、人

間によって創造された労働手段の一定の特殊な体系であり、またこの体系一般である。このさい、労働手段の体系が技術という概念の中心的な内容である。」<sup>1)</sup>

中村の技術の規定によると、労働手段である装置の体系は、化学技術の概念の中心的内容になる。

中村は、「装置は対象に化学反応などをおこなわせるための諸条件をつくりだすようにつくられた容器と動力学的機構の複合体である。容器と結びあわされた道具や機構が機械への発展をたどり、そこに近代的装置が出現する」、そして、装置の発展の方向は、第一は「物を容れるというその基本的な機能の増大の方向」であり、道具から機械へ、自動制御も大型化を促進しているとする。第二の方向は、「多様な用途にたいして単能に分化してゆく」、そして、これから「多彩な特殊化・専用化が現れる」「積極的に反応を引き起こすために、容器そのものの構造が工夫」される。この二つが「装置—脈管系統にみられる固有の発展法則」と中村は述べる<sup>2)</sup>。

中村の装置についての見解は、装置の容器的性格、形状、およびその体系の発展の必然性、これらが、何によって、どのようにして決まるかの説明が抽象的である。これは、小論と違って、化学工程、および操作と装置を関連させていないからであろう。

技術において、やはり、労働手段を重視する山崎俊雄は「装置は其中で原料に人手を加えずひとりでの化学変化を生じて生産物に転化してゆく、その限りにおいては本質上自動的であるが、反応の終了をまって……」製品や原料を出し入れするのは効率的でないから、装置の発展は連続方式をとると述べる<sup>3)</sup>。さらに、山崎は装置の発展を「装置—装置体系—自動装置体系」と図式化する。そこで「化学技術の発展は化学的労働手段である反応物質と物理的労働手段である装置との矛盾を統一するところにある」とした<sup>4)</sup>。山崎は、「装置は機械よりもはるかに原料=労働対象が多種類であり、形態変化でない化学変化を労働過程とする。したがって、装置の発展を図るには、

装置内の反応に関する科学・技術学的法則の解明が必要とされる。」と述べ、続いて「装置を手段とする労働には、本質的に肉体的よりむしろ高度な精神労働、科学・技術学的労働が要求される。」という<sup>5)</sup>。

山崎の装置—装置体系—自動装置体系の図式は、労働手段の体系に拘り過ぎていたのではなからうか。これと、「化学変化を労働過程とする」と述べられたこととどのように関連するのか。山崎の装置についての論議は、十分に展開されていないようにみえる。

加藤邦興は、山崎のあとを受け、「化学技術は、物質の化学的变化・運動を生産に利用するために必要な手段の体系」としている。さらに加藤は「対象としての原料という要素と化学的な運動過程を制御する人間という要素が結合してはじめて生産が現実に行進する」と付け加える<sup>6)</sup>。

加藤は、化学機械と装置の具体的な史実を述べるが、一般化した装置についての見解は展開していない<sup>7)</sup>。

F. マタレは、労働手段を道具、機械、装置に分け、とくに装置について、その特徴を論述した。マタレは、労働手段には「執行又は手順の性格を持つことができる。執行の成就に役立つ手段は、道具かそれとも機械である。道具は粗なる力を労働対象に不変のままに伝達し、機械はそれを作用力に変化する。装置とは手順の成就に役立つ労働手段である。——労働手段の外に産業経営内にはなほ、労働手段に類縁している一聯の他の対象、例へば器械、備品および容器がある。」<sup>8)</sup>と述べる。

マタレが述べる装置は、①労働対象への導体が、機械に比較して形状が「単純な容器」である。②装置において、その目的実現過程である非力学的過程が遂行される。目的実現過程を手順(Prozess)と呼ぶ。装置内部では、労働対象のみが、天然に内在する力によって作用する。労働対象のみが目的実現過程において積極的に振舞い、労働手段は純受動的である<sup>9)</sup>。

マタレは、労働手段の機械の実現過程が力学的であり、能動的であるのにならして、装置は非力学的で、受動的であるとし、そして、手順の重視、労

働対象の内在力をみた。この見解は、小論における、化学工程の諸操作とその物質変換が熱力学であるとする点と一致する。マタレのいう内在力は、状態変化であり、これは受動的であっても、操作の環境条件を設定することによって、装置は能動的に作用する。

マタレは、前記の『技術構成と経済』において、装置における作業の周期性、装置の製作材料、装置の大きさの関係(2/3乗のこと)、装置の生産物(副生物について述べる)、装置の生産物の貯蔵と輸送についても論述しており、その視点は適切である。

三戸公は、マタレのいう「単なる容器」から、質的に異なった発展的形態の装置を、つぎのように規定する。「装置は単なる容器に対して機構的な構造的な容器である」。機構的、構造的とは、容器・結合機構・機械・計測器の構成部分をもつことをいう。さらに、装置は、「自然科学の意識的適用として製作された、労働対象の自己変化・自己運動を可能に促進し助長せしめる労働手段」という。これを、また三戸は、自然科学の発達によって、物質の化学組成と、これの自己変化・自己運動も明らかになったので、この法則に依拠し「はじめて労働対象より生産物にいたる過程において労働対象に対して加えられる一切の働きかけの手順が決定され得、更にそれに基づいて、この手順を可能ならしめるものとして製作され機能せしめられている労働手段」と、言葉を換えて述べる<sup>10)</sup>。

三戸が規定する装置において、三戸がいう「自然科学の意識的適用」、あるいは「機構的な構造的な容器」の説明は、あまりにも一般的であり、具体性にかける。三戸のいう「労働対象の自己変化・自己運動」は、小論で述べる労働対象の状態変化であり、その操作の環境条件を設定することが、三戸のいう装置の能動性であり、「自己変化・自己運動」を「促進し助長せしめ」「手順を可能ならしめる」ことである。

三戸はまた、マニュファクチュアの装置は「専門化された諸道具が、容器を中心として機構的、構造的に結合せしめられたもの」とする。この装置

は、マニュファクチュアの機械制工業を基盤として製作され、労働対象の自己変化・自己運動の解明は、自然科学によってなされていないため、「労働者が伝承された生産法をもって、蓄積された経験や勘をたよりに労働対象の変化状態を把握し、それに基づいて諸作業は加減され按配され、労働過程は進行……、主観的……」であった。三戸のマニュファクチュアの装置への指摘は、「自然科学の解明」が必要であったか否かはさておいて、的確な指摘である<sup>11)</sup>。

三戸は、コンビナートを「結合工場体系」としての装置とみる。機械の工場体系は「同種作業機の協業形態が一個の機械となっていたのに対し、装置にあっては、構成要素たる機械及び容器が、各々単一巨大化の形態をとっている」。その工場の結合は、原料と製品の種類によって、三つに分ける<sup>12)</sup>。

しかし、これは、現実のコンビナートを理解する上に役立つことではない。化学工程にもとづいて、装置の形態、コンビナートの形態をみる必要がある。

下谷政弘によると、装置は、「条件付与機構に組みこまれた容器」であり、そして、条件付与機構のための動力機を備えているとする。ここで、下谷のいう条件は「攪拌・温度・圧力などである」。

下谷は、下谷が規定する装置・道具・機械と、マタレや三戸が規定するそれとの違いをつぎのように図示する。

<u>マタレの場合</u>	<u>三戸氏の場合</u>	<u>下谷の場合</u>
① 道具	道具—容器	道具—容器
② 機械	機械—なし	機械—装置(容器+機械)
③ 装置(=容器)	(機械+機械)(容器+機械)	(機械+機械)(装置+装置)

下谷は、三戸の規定する装置では、単なる容器が機械的・構造的容器になるかという「内的契機を十分に説明できない」と批判する。しかし、下谷のいう装置は、「条件付与機構」にしても、小論が述べる化学工程と操作からみると、やはり、装置の内的契機の説明が十分でない。

下谷はまた、「装置体系とは、近代的化学工業の中心的労働手段であり、複数の発達した装置が分業原則により、各生産工程にたがいにその作業量に過不足のないように配置された、一つの結合体、体系である。」と述べる。下谷のいう「分業原則」と工程の「作業量」が、装置体系を組む因子であるかのようにあるが、生産現場からみると理解に苦しむ。また、下谷のいう化学工業のフローシートは、生産現場では、副産物の連関を示すのではなく、化学工程の操作のシステムを示すのが普通である<sup>13)</sup>。

下谷は「装置労働とは、本質的作業過程＝『目的実現過程』に対する条件の付与にこそある」と述べる。原光雄の化学的労働手段は装置労働の理解不足であり、労働手段の導体の意味を把握できず、反応物質の中に「労働手段性」を探す、誤りを犯す結果になったと批判する。下谷の装置労働は、小論の化学労働の特徴とほぼ同じ見地である<sup>14)</sup>。

原光雄はつぎのように述べる。「たんに装置のごときものだけに限定してきたが、これは化学技術の本性を誤りとらえたものといわなければならない。化学技術においては、狭義の労働手段として、第一に各種の化学薬品(原料)が登場し、目的とする化学変化を労働対象に起こさせるために、能動的な役割をはたすのである。第二の労働手段は、反応を生起せしめる励起用エネルギー(熱エネルギー、電気エネルギー、圧力エネルギーなど)である。第三は装置類である。右の第一のものが、化学技術における化学的労働手段であり、第三のものが、化学技術における物理的労働手段である。」<sup>15)</sup>

原の第一にあげた、化学的労働手段は、原料物質から目的の製品がすんなりできるわけではなく、いくつもの反応経路を経るが、途中の反応とこれに必要な原料は、原の規定からみると全て手段になる。反応操作を促進する手段である触媒などに限ると、小論で述べたように、反応器に付随する。原は労働手段を分類はするが、それは、生産現場とは関わりのない思弁的なものである。

原は装置(狭義)を「対象の保持以外の機能を果たすように、合目的に変

形＝複雑化された保容的手段」と規定する。そして、原は、道具と装置の区別や「合目的変形＝複雑化の進展は、いわば装置製の高度化である」と述べるが<sup>16)</sup>、小論とは違って、諸操作と関連がない議論であるため、発展の契機がわからない。

田辺振太郎は、「装置の本質は、労働容器を基幹としてこれに機械が結合してできた結合段階にある体系化した労働手段である」とする。労働容器は「人間の働きを労働対象に取り次ぐ際の基本的な方式は直接的には静力学的な制御を行うことによって化学的な制御を間接的に遂行する」。田辺は、工具の「のみ」を示し、刃の部分が作業部、握りの部分は原動部とし、一方、器の内壁は作用部、外壁は原動部であると述べる。労働容器においても、田辺は「物を容れる、ということが基本的な機能であるから容量の増大ということが最も一般的な発展方向である。次は多種多様な用途に対して単能的に分化していくことであって、この面で多彩な特殊化が現れる」、また「労働容器そのものにおける作動方式と機能との矛盾の発展においても分化・単能化一再結合という一般的な経過……必然性は運動を制御する。」<sup>17)</sup>と述べる。

田辺の装置論は、生産現場からみると、現実離れの一言につきる。

岡邦雄は、「装置はいわば主として化学的労働手段である」として、機械的労働手段と対比した。原の見解を整理して述べる。① 物質をつくる製品も、副産物も多様。その物質は、物質名で呼ばれ、多量・均一・無定型である。② 無定型であるから、容器が必要。——これを第一労働手段。③ 主原料にたいして、化学反応を助ける物質、および燃料、電気などが、その反応のための手段、すなわち第二労働手段になる。第二労働手段と労働対象の区別が曖昧。④ 化学製品をつくる方法の発明が主で、装置の発明は随伴的。⑤ 機械的労働手段は仕事を促進させるが、化学的労働手段は仕事を可能ならしめるように働く。⑥ 化学反応を基本とした工程があり、これに従った装置・設備・工場ができて、そこに労働手段の体系をつくる<sup>18)</sup>。

岡の装置論の特徴は、装置を化学的労働手段として、労働対象までも労働

手段の体系に組み込もうと努力したことである。これが生産現場にある装置の設計に有効であったとはいえない。

村田富二郎は装置についてつぎのように述べる。村田は、化学工業の工程には化学反応が中心に置かれていて、その技術の特徴として、「① 新技術が誕生しやすい。② 原料および製品が複数になりやすい。③ 容器または装置を必要とする。」と述べる。続いて、村田は、化学反応を起こさせるには、異種類の物質を接触させるか、温度・圧力などの条件を変えるかなど、少なくともその環境の一部を大気中のそれと異なるようにする必要がある。大気を遮断する外壁、つまり、容器、または装置を必要とする。また、反応では、反応物質の片方が、少なくとも流体の方が反応が進むので、流体になる。そのためにも容器的な装置が必要であるという。

村田は、三戸のマタレ批判は、マタレの見解以上ではなく、基本的には同じであり、それ以後もこの業績を越えたものはないと述べる。

村田はまた、「化学工業の基本的な生産手段は容器のみにあるのではなく、反応をおこさせる反応技術にある」とし、そして、「生産手段は機器を、生産手段の体系は装置および工程を意味する。これらは、発明または設計者の立場からは技術の成果であり、その製作または建設者にとっては技術の目的である。これを使用する運転管理者や工程管理者にとっては技術の手段となる」という。前述した、技術の本質は技術能力であるとする村田の技術にたいする規定からみると、装置も工程も手段の体系も人間の技術能力の結果である。

村田は、「化学工業における生産手段の体系の具体的な形式は装置である」、「装置を動的な面で結合した工程が技術の各側面を集約的に体現している。したがって、各種の技術を具体的に学ぶ場合には、工程すなわち動的な生産手段の体系から着手することが望ましい」として、工程を重視する<sup>19)</sup>。

以上、諸家の装置にたいする見解は、装置の容器性に拘るが、その機能と形状の解明、労働対象との関連、設計、製作、そして操業・運転との関連に

ついて触れることが少ない。これでは、装置の発達の契機、そして発達の方向もみえない。

村田の装置論の視点は、小論と同じく工程を重視している。

〔註〕

- 1) 中村静治, 前掲『技術論入門』135 ページ
- 2) 前掲『技術論争史』下, 151, 152 ページ
- 3) 山崎俊雄, (加茂儀一編)『技術の歴史』毎日新聞社 (1956), 255 ページ
- 4) 山崎俊雄, 『J・C・M』(1960年5月), 4 ページ
- 5) 山崎俊雄, 『J・C・M』(1960年6月), 4 ページ
- 6) 加藤邦興, 前掲『化学の技術史』
- 7) 加藤邦興, 前掲『化学機械と装置の歴史』
- 8) マタレ, 前掲書, 314 ページ
- 9) マタレ, 同上書, 44, 45, 52 ページ
- 10) 三戸公『装置工業論序説』有斐閣 (1957), 14—16 ページ
- 11) 三戸公, 同上書, 12—13 ページ
- 12) 三戸公, 同上書, 42, 45 ページ
- 13) 下谷政弘, 『経済論叢』111 巻 2 号 (1973年2月), 51—60 ページ
- 14) 下谷政弘, 『大阪経大論集』111 号 (1976年5月), 46—49 ページ
- 15) 原光雄『技術論』弘文堂 (1961), 39 ページ
- 16) 原光雄, 同上書, 170 ページ
- 17) 田辺振太郎『技術論』青木書店 (1960), 99, 82, 84 ページ
- 18) 岡邦雄『新しい技術論』春秋社 (1955), 35—39, 72 ページ
- 19) 村田富二郎『化学工業概論』日本評論社 (1973), 12, 13, 32, 34, 36 ページ