近傍より開始される。然し使用中次第に磷酸触媒の活性が衰へるので漸次反応温度をあげ最高 400°C 位に到つて尚正ブテン異性化率が 20%~25% を下廻るようになつたら作業を中止する。

この場合磷酸触媒の活性が減退する原因は高温による磷酸の亡失と、メタ磷酸への転移であるが、前者が主原因である。従つて、磷酸触媒の寿命を延長する為には担体に可及的多量の磷酸を保持せしめる以外に方法はない。前記真狩系珪藻土は極めて吸着力が大きいため、これに担体重量の 6 倍量の正磷酸を保持せしめて重合触媒と同様の工程で調製した触媒をつくり之れによつて実験室で寿命試験を行つたところ 70 日間の作業継続が可能であつた。これは当時使用していた触媒の平均寿命の略 4 倍である。

固体磷酸触媒の使用中に於ける活性減退の原因は重合触媒に於ては (反応温度 150~200°C) 触媒表面への炭素の沈着である。従つて、2 %程度の酸素を含む不活性ガスを 350°C で数時間触媒に通じる事によつてその原活性の 80~90% を回復出来る。脱水異性化触媒の活性減退の主原因は前述の如く磷酸の亡失であるから廃触媒の再生は不可能である。(昭和 27 年 12 月 25 日受理)

引用文献

- 1) Ipatieff: *Catalytic Reactions at High Pressures & Temperatures*.
Ipatieff, Pines & Schaad, *J. Am. Chem. Soc.*, **56**, 2696 (1934)
Ipatieff, *Ind. Eng. Chem.*, **27**, 1067 (1935)
Ipatieff & Pines, *Ind. Eng. Chem.*, **27**, 1364 (1935)
Ipatieff & Pines, *Ind. Eng. Chem.*, **28**, 684 (1936)
Ipatieff & Corson, *Ind. Eng. Chem.*, **28**, 860 (1936)
- 2) 大塚博, 北大工学部紀要, 第 8 冊第 1 号 (昭和 22); 同, 第 8 冊第 2 号 (昭和 24)
- 3) 勝野正治, 工化誌, **44**, 831 (昭和 16)
- 4) Whitmore, *Ind. Eng. Chem.*, **26**, 94 (1934)
- 5) 堀内寿郎, 北大触媒研究所報告第 9 号
- 6) 大塚博, 北大工学部紀要, 第 8 冊第 3 号 (I) (昭和 25)
- 7) 河島千尋, 素木洋一, 大日本窯業協会誌, **49** 集, 577 号 (昭 16.1) に第 1 報, 引続き同誌に多数報告がある。

生体における燐の役割

The Role of Phosphorus in Living Organisms.

岩 村 達 一*

Tatsuichi Iwamura

燐の重要性

生体を構成する元素, 所謂生元素のうちでも燐は最も重要な役割を果しているものの一つである。例えば, 磷脂質は細胞膜の形成に与つて膜の滲透現象に関与し, ヌクレオチドが多数重合することにより, 成長, 遺伝に重要な関係をもつ核酸が形成されてをり, 又磷酸カルシウムは動物の骨や歯の主要成分となるなど, 生体の諸機能上極めて重要な化学構造の構成成分として燐が登場することはよく知られた所である。併し, 生体にとつての燐の第一級の重要性は, 生命現象に根本的に重要な炭水化物その他の代謝並びに多くの酸化還元反応其他の細胞内諸過程の中間に, それが磷酸の形で関与することにある。このことを, その研究の歴史から見ても最も関係の

深い, 筋肉その他の動物組織に於ける解糖作用及び酵母のアルコール醗酵の機構について見てみよう。

解糖作用及びアルコール醗酵に於いて見られる燐酸の役割

1) 燐酸の移動

第 1 図に解糖作用並びにアルコール醗酵の機構を示す。図より明らかな如く, これらの過程に見られる中間生成物の殆ど総てが磷酸結合を含む有機磷酸化合物である。これら磷酸化合物の生成, それによる代謝反応の進行には, 燐酸の移動が伴うわけであるが, これに二つの仕方がある。一つは, 反応 (1) に見られる如き, 無機燐酸が附加されて基質が分解される酵素反応, 即ち加燐酸分解であり, 今一つは, 反応 (4), (9), (12) に見られる如き, 酵素フォスフォキナーゼによる燐酸基の移動,

* 徳川生物学研究所

第1図 解糖作用, アルコール酸酵の機構

Pは磷酸基($-\text{PO}_3\text{H}_2$), ~P は
高エネルギー磷酸結合

所謂磷酸転位によるものである。而してこれら磷酸移動の生化学的, 生物学的重要性は, 生成される有機磷酸化合物にある磷酸結合のエネルギーを考慮することによって明らかになる。

2) 有機磷酸化合物の加水分解エネルギー*

一般に有機磷酸化合物は次式の如く加水分解される。

この加水分解は生体内の如く水の濃度が高い場合, 一般に自由エネルギーの減少する exergonic reaction ($\Delta F < 0$) であるが, その際放出される自由エネルギーの大小により, 有機磷酸化合物は大凡二種類に分けられる(第1表)。一は, $-\Delta F = 2,000 \sim 3,000$ カロリーの値を

第2図 Krebs のクエン酸サイクル

.....~P は P の生成を示すの
所にはアセチル補酵素Aが働く

第1表 有機磷酸化合物の加水分解に於ける $-\Delta F$ 値

化合物	$-\Delta F$ (cal)	pH	°C
α -グリセロ磷酸	2,200	8.5	38°
グルコース-1-磷酸	4,900		
グルコース-6-磷酸	3,000	8.5	38
フルクトース-1-磷酸	2,790	8.5	38
フルクトース-6-磷酸	3,000	8.5	38
グリセリン酸-3-磷酸	3,000	8.5	30
グリセリン酸-2-磷酸	4,050	8.5	30
ATP	10,460	7.8	20
ADP	ATP = 同ジ		
エノールビルグイン酸磷酸	15,950	8.5	25
グリセリン酸-1,3-二磷酸	ATP ヨリ 4,600 大	6.9	25
クレアチン磷酸	ATP ヨリ 1,100 大	7.7	25
アセチル磷酸	15,000 ?		
ピロ磷酸	ATP ト同ジ ?		
DPN	ATP ト同ジ ?		

* 我が生体に関連してエネルギーという時は, 屢々, 加水分解によって放出されるエネルギーについて考え, また, 合成反応にも, 脱水中に要するエネルギーについて考える。

もつもの、他は、 $-\Delta F = 10,000 \sim 16,000$ カロリーの値をもつものであり、前者を低位磷酸結合、後者を高位磷酸結合と呼ぶ。低位磷酸結合に種々の磷酸エステルがあり、高位磷酸結合には、第1図にも見られる、グリセリン酸-1,3-二磷酸、エノールピルビン酸磷酸、更に含磷酸補酵素系であるアデニル酸系〔アデノシン三磷酸(ATP)―アデノシン二磷酸(ADP)〕等がある(第3図)同じ磷酸結合でも加水分解に際して放出される自由エネルギーに大小の差があるのは何故か。これは次の如く考えられている。

第3図 $\sim P$ をもつ有機磷酸化合物

一般に、高位磷酸結合に於いては、その加水分解により生ずる有機物は共鳴構造をもつていて安定されてをり、これが磷酸と結合して、その共鳴構造が磷酸の共鳴構造により妨害される結果、加水分解後に比べ高エネルギー状態をとる。低位磷酸結合に於いてはこのようなことはない。従つて、前者は後者に比べ、放出する自由エネルギーが多いのである。

更に高位磷酸結合に於いて重要なことは、それ等が生体内で、一方では高エネルギー結合をもつ、即ち熱力学的不安定性をもつと同時に、他方、高エネルギー結合の周囲にある多量の陰電荷に負うものと考えられる寿命の長さ、即ち反応速度論的安定性をも持っていることである。

3) 磷酸移動の意義

そこで前述の磷酸移動について考えよう。第一の加磷

酸分解では、グリコーゲンからグルコース-1-磷酸が生ずる。この反応は形式的には加水分解と似てゐる。しかし、グリコーゲンの加水分解反応が大なる自由エネルギー減少を伴う反応であり、その際グリコーゲンのグリコシド結合のエネルギーは、いわば無駄に失われてゆくのに反し、この加磷酸分解反応では、グリコシド結合のエネルギーは生成物グルコース-1-磷酸の磷酸エステル結合に保存される結果となり、反応全体として自由エネルギーの変化は少い。従つて、生体内の如く水の濃度が他の反応物質のそれに比し圧倒的に高い場合では、加水分解反応が事実上不可逆的であるのに対して、加磷酸分解反応では、その逆反応、グリコーゲンの合成も条件によつては可能である。事実この加磷酸分解に働く酵素の発見によつて初めて、多糖類の生体内合成が理解されたのである。このように、生体内反応で磷酸結合がエネルギーの保存に役立つてゐることが上の例で見られる。

次にフォスフォキナーゼによる磷酸転移であるが、先づ反応(4)では、ATPの高エネルギー磷酸結合(C $\sim$ Pで表わす)により、フルクトース-6-磷酸が加磷酸されて、フルクトース-1,6-二磷酸となり、之は酵素アルドラーゼにより分解されて二分子の3炭糖磷酸になる。この場合、磷酸は無機磷酸の状態を経ずに直接(ATPからフルクトース-6-磷酸へと)移動し、この加磷酸により重要な代謝物質3炭糖磷酸が生ずるわけである。エネルギーからみれば、ATPの $\sim P$ と、磷酸エステルのエステル結合のエネルギーとの差は損失となるが、反応(9)、(12)では同じく磷酸転位ではあるが、エネルギーから見て遙かに能率のよい磷酸移動が行われる。即ち、反応(9)では3炭糖磷酸の脱水素の酸化に伴つて生じたグリセリン酸-1,3-二磷酸の $\sim P$ が、反応(12)ではエノールピルビン酸磷酸の $\sim P$ が、ADPに渡されて、ATPの $\sim P$ を形成する。つまり、この磷酸転位に於いては第1表からも判るとおり、エネルギーの損失が殆どないのである。

かくて、中間代謝の磷酸移動に於いて、高エネルギー磷酸結合のエネルギーは、フォスフォキナーゼと呼ばれる酵素の作用により、無機磷酸の状態を経ない磷酸移動に伴つて、一から他へと有効に、ある場合には殆ど損失なしに移動されるのである。

さて、解糖作用ではグリコーゲンを構成するグルコース1分子当り2分子の乳酸が生成され、又アルコール醗酵ではグルコース1分子当り2分子宛アルコール及び炭酸ガスが生成される。しかも第1図に見られる如く、これら両過程は、ピルビン酸の出来る所迄は全く同一と

され、前者ではグリコーゲンの酸化的分解の結果、 $4-1=3$ 分子の ATP 後者では $4-2=2$ 分子の ATP が、グルコース 1 分子につき生成されることになる。エネルギーの面からいえば、両者共所謂栄養素たる炭水化物の化学エネルギーが、その分解により放出されるエネルギー放出反応で、解糖作用に於いてはグルコース 1 分子当り 57,000 カロリー、アルコール醗酵では同じく、50,000 カロリーの自由エネルギーが放出される。そして、これが単なる熱エネルギーとして失われるのではなく、何れの場合にも高位磷酸結合 ATP が生成されるの

であり、50~60%の高効率をもつて、炭水化物の化学エネルギーが、高位磷酸結合の高エネルギーに変換されるわけである。

所でこの ATP こそ、先にも述べた如く、その熱力学的不安定性且つ反応速度論的安定性により、生体内に於いてエネルギーの伝達、貯蔵に中心的な役割を果していることが、次第に判つてきているのである(反応(4)は ATP のかかる働きの一つであるといえる)。結局、生体内では、炭水化物の如き栄養素の分解に於いて、その化学エネルギーは磷酸の移動を介して非常に高効率で、

細胞内諸過程に有用な ATP の $\sim P$ に変換され、生体はこの ATP の $\sim P$ によつて諸種の細胞活動を営んでいるのである。ここに見られるエネルギーの伝達、保存こそが、磷の生体内で果している第一級の役割なのである。

尚、代謝に於ける磷酸関与の問題として、含磷酸補酵素系についてのべねばならない。かかる補酵素系としては、上述のアデニル酸系、又第1図に見られるビリジヌクレオチド系〔ジフォスホビリジヌクレオチド(DPN)、トリフォスホビリジヌクレオチド(TPN)〕の外、フラヴィヌヌクレオチド系〔フラヴィヌヌクレオチド(FMN)、フラヴィンアデニルヌクレオチド(FAD)〕、チアミンピロ磷酸、補酵素 A、ビリドキシン補酵素、ウリジヌクレオチド、グルコース-1,6-二磷酸等が知られ、これらは何れも磷酸を含み又大部分がビタミ

1a. DPN

1b. TPN

2. FAD

3. チアミンピロリン酸

4. 補酵素 A

5. ピリドキシン補酵素

第4図 含磷酸補酵素群

高エネルギー磷酸結合の生成

かくて、生体内で磷酸は、その移動によつてエネルギーの保存、移動に役立っていることが見られたわけであり、上述の、炭水化物の無酸素的分解反応は、第1図反応(9)、(12)に見る如く、脱水素の酸化に伴つて高位磷酸が生成され、且つその $\sim P$ がアデニル酸系に渡されて ATP が生ずることに、生体にとつての意義がある。そこで、磷酸の重要な役割である、この高位磷酸結合の生成について、酸素のある場合の栄養素の分解反応、所謂酸素呼吸に於いて見てみよう。

所謂酸素呼吸に於いて、炭水化物はピルヴィン酸に至る迄は第1図の如く分解され、ピルヴィン酸は更に、第2図に示す、所謂 Krebs のクエン酸サイクルに入る、この代謝経路は、はじめ Szent-Györgyi によつて見出され、Krebs により略々確定されたもので、動物組織、好気的バクテリア等に於て認められるものである。ピルヴィン酸はこのサイクルに入り、次々と脱炭酸、脱水素

ンBとリボース、磷酸より成るヌクレオチドである。

(第4図) これらのうちアデニル酸系は、自らの磷酸を放ち或いは磷酸と結合して、磷酸移動に働き、他のものは、或いは酸化還元反応に於いて、H原子受授の中間体として作用し(DPN, TPN, FMD, FAD等)、或いは、脱炭酸反応に関与し(チアミンピロリン酸)、或いはアミノ基転位に働き(ピリドキサル磷酸)等、一般的に物質代謝に重要な役割を果している。しかし、アデニル酸系以外は、それらにある磷酸が如何なる役割を果しているかは不明である。ただ ATP 以外のものでも、 $\sim P$ をもっているものは、その $\sim P$ がエネルギー受授に与える可能性もあり得るが、これは今後の興味ある課題であらう。

を受けて完全に分解される。その際、基質から出た水素原子は結局、所謂 Warburg-Keilin の呼吸系(第5図)に渡され、水素原子の電子が最後に酸素原子に移ることになる。従つて、酸素呼吸では、無酸素的の分解に比べより一層多くの自由エネルギーが放出され、しかもこれが熱として失われずに、高能率で $\sim P$ に回収されることが判つている。この間、基質の酸化並びに電子の移動に伴つて、如何なる化学的機構で $\sim P$ が生成されるかは現在の所不明であるが、大凡、第2図及び第5図に示す如き位置で $\sim P$ が生成され、その数も、グルコースからはグルコース 1 分子当り $40-1=39$ 分子、グルコ

第5図 Warburg-Keilin の呼吸系

ースからは $40-2=38$ 分子の $\sim P$ が生ずると推定されている。

所で、脂肪、蛋白質等の栄養素も、酸化分解に当つては、それぞれ脂肪酸、アミノ酸を経て、前述の Krebs のサイクルに入り込み、炭酸ガスと水となつて完全に分解されるのである。従つて、所謂栄養素は大略上述の如き過程で酸化分解されて、その自由エネルギーが $\sim P$ に変換され、そして、生じた $\sim P$ は ADP に渡されて ATP の $\sim P$ として保存され、又更に他へ伝達されることになるのである。

唯ここで注意すべきは、栄養素の化学エネルギーの利用に於いて、高エネルギー燐酸結合を介さぬ場合もあることである。例えば、ピルヴィン酸の酸化により種々の物質がアセチル化される場合、酸化によつて放出されるエネルギーは燐酸結合にではなく、アセチル補酵素 A の高エネルギー結合（分解の $-\Delta F=16,000$ カロリー）に保存され、このアセチル基が該物質をアセチル化することになるのである。^{*} また、炭酸ガスとピルヴィン酸とからマロン酸が合成される場合、酸化分解により生成される TPNH（還元型 TPN）が絶えず補給されれば、燐酸の関与なしにこの合成反応は進行する。しかし乍ら、興味あることは、補酵素 A といい、TPNH といい、何れも、上述の含燐酸補酵素であり、これらに存在する燐酸がどのように働いているかということは、追求すべき問題であらう。

細胞活動に於ける ATP の働き

かくて生成された ATP はその $\sim P$ の高エネルギーにより、自発的には起り得ない生化学反応 (endergonic reaction, $\Delta F > 0$) と結合して、これを駆動するわけであり、現在、ペプチド結合の生成、メチル基転位、アミノ基転位、尿素の生成、炭酸ガスの固定等の諸反応に、ATP が如何に関与するか判つて来ている。又、生理学的な課題として、従来物理的側面の方がより多く研究されてきていた諸種の細胞活動、即ち、筋肉の収縮、生物発光、神経活動等も、それらの物理的側面と化学的側面とをつなぐものとして、ATP が登場したことによつてよく理解されて来ている。就中、筋肉の収縮は、歴史的にも燐酸の問題とは密接な関係があり、最も究研が進んでいる。

一方、ATP は直接上記の如く諸種の反応を駆動するのに役立つのみならず、又、他の高エネルギー燐酸結合

として殆んどエネルギーの損失なしに貯蔵もされる。かかる燐酸化合物としては、筋肉中の燐原質があり、脊椎動物のクレアチン燐酸、無脊椎動物のアルギニン燐酸がこれである。又、微生物には屢々無機性のピロ燐酸、メタ燐酸等が見出され、これらも一種の貯蔵型燐酸化合物ではないかと考えられている。これらの貯蔵エネルギーは、必要に応じ、時には、直接、多くは再び ATP を経て細胞活動に使われるのである。

次に、細胞活動に於ける ATP 関与の仕方を、筋収縮、(電気発生) 発光現象等について略述する。

1) 筋肉の収縮 ATP の細胞活動に於ける働きとして最も典型的なものは、筋肉の収縮に於いて見られ、歴史的にも、解糖作用は勿論、ATP、クレアチン燐酸等の高エネルギー燐酸化合物も筋肉に於いて見出されている。筋収縮の物理的側面は、既に前世紀から生理学者により詳細に研究されていたが、その化学的側面は、今世紀に入つてから先づ解糖作用が見出され、1940 年代になつて Szent-Györgyi 一派により、収縮を起す実体が筋肉より抽出されるに及んで始めて、生体内に於ける化学的エネルギーの力学的エネルギーへの変換の詳細が明らかになつてきたのである。

筋肉に於いて収縮を起す実体は、筋肉を構成する蛋白質アクトミオシンであり、これは蛋白質アクチン (哺乳動物の骨格筋中には約 3% 含まれる) と、蛋白質ミオシン (同じく、40~60%) との結合したものである。このアクトミオシンが ATP の $\sim P$ を使つて、短縮という力学的変化を引き起すのであるが、その際両者は化学量論的に反応するのである。

更に、アクチンには球形の G-アクチンとこれが会合した繊維状の F-アクチンとの二種類の状態があり、ATP はこの G-アクチンを F-アクチンに変ずる仕事に使われる。即ち、

$G-アクチン + ATP \rightarrow F-アクチン + ADP + 燐酸$
Mommerts の計算によれば、筋肉中の 3% のアクチンが ATP と上式に従つて反応するとすれば、筋肉 1 グラムにつき一回の収縮当り、 5×10^{-7} モルの ATP が消費されることになり、この値は生の筋肉での値とよく一致する。従つて、彼は ATP の大部分が G-アクチンを F-アクチンに変える仕事に使われると考え、筋肉より抽出精製されたアクトミオシンの短縮反応から、筋収縮の機構を次の如くのべている。

静止時の筋肉には G-アクトミオシンが存在し、所謂刺激により周囲のイオン (Mg^{++} , K^{+} 等) に微細な濃度変化を生ずると、その G-アクチンが上式に従つて ATP

^{*} 或る種のバクテリアでは側反応としてアセチル燐酸の生成されることが知られている。

と反応して F- アクチンになり、ミオシンと結合して F- アクトミオシンとなる。この繊維状の F- アクトミオシンが、 Mg^{++} , K^{+} , ATP の存在に於いて、構造的変化(ラセン状に巻くとも、又はアクチンとミオシンに解離するともいわれる)により短縮する結果、筋肉全体として収縮することになる。この時 ATP より生じた ADP は、貯蔵エネルギー物質クレアチン磷酸又はビルヴィン酸磷酸により再び ATP に変えられる。かくして、収縮を繰返せば、クレアチン磷酸は減少するが、これは解糖作用並びに酸素呼吸により生成される ATP によつて補われる。かくして、ATP の高エネルギーは、アクトミオシンなる蛋白質によつて力学的仕事に変換されるわけである。

2) 電気発生 生物の電気発生は、電気ウナギ、シビレイ等の放電としては早くから知られ、又神経の興奮伝導、筋収縮に際しての活動電流の発生としてもよく研究されているが、これは、生細胞では、活動時程度の差こそあれ、一般的に認められる現象である。従来、その物理的側面の研究は詳細に行われてきているが、その化学的側面は未解決な点が多い。Nachmansohn 一派は動物の放電器、筋肉等で、アセチルコリン並びにその分解酵素コリンエステラーゼ、及びその合成酵素系コリンアセチラーゼを見出し、これらの物質が神経の興奮伝導と密接な関係をもつことを確め、神経の活動電流発生について興味ある理論を展開している。以下 Nachmansohn の理論を略記する(第6図参照)。

第6図 電気発生 の模形

発生する電流の電動力は神経繊維の膜の内外に於けるイオン分布に由来する。休止時に於いては、膜はその選択的イオン透過性により外側に Na^{+} が多く、内側に K^{+} が多い。そして、外側は $+$ に、内側は $-$ に帯電している。刺激により、膜のイオン透過性変じ、特に Na^{+} に対する透過性が増して Na^{+} は流入し、且つ K^{+} も流出して電気的中和が起る。これが活動電流として認められるのである。

所で、この膜の透過性を制御するのがアセチルコリン

であり、これは休止時は他の物質に結合された状態で存在し、刺激により遊離状態となる。そして直ちに膜に存在する受容蛋白と結合し、その結果膜のイオン透過性変ずるのである。一方、アセチルコリンは共存するコリンエステラーゼにより急速に分解され、一旦受容蛋白と結合したものも、可逆反応に於ける平衡移動により、蛋白体から離れて分解されるので、膜は急速に回復する。分解されて生じた酢酸とコリンは、酢酸が ATP の $\sim P$ により活性化され(この時補酵素 A が働く)、コリンアセチラーゼの作用で再びアセチルコリンへと合成される。即ち ATP はこの場合、膜のイオン透過性を制御するアセチルコリンの合成に用いられるのである。

尚、上述のコリンエステラーゼの伝導関与並びにその基質分解機構に関連して、興味ある磷酸化合物、アルキル磷酸が知られている。これらは神経の興奮伝導に毒性を持ち、且つエステラーゼの作用を不可逆的に阻害する。ジイソプロピルフルオロ磷酸(DFP)は極く微量できき、テトラエチルビロ磷酸はこれよりは毒性が弱い。酵素コリンエステラーゼがコリンエステルを加水解する場合には、酵素の活性部が一旦基質のカルボニル基により、アシル化され、次にこの $C-O$ 結合が切れてエステルの分解が起ると考えられるのであるが、これらの毒物はその活性部を $[(RO)_2P=O]^{+}$ 構造によつて酵素を加磷酸して、不活性化し、しかもこの $P-O$ 結合が分解されにくいので不可逆的な毒物として働くものと考えられる。テトラエチルビロ磷酸による酵素の阻害では、この $P-O$ 結合を切ると考えられるコリン、ヒドロキシルアミンを加えることにより、酵素は活性を取り戻すことが出来た。かくして、このアルキル磷酸は、生理生化学的に興味ある磷酸化合物として現在利用されつつある。

3) 発光現象 ホタル、バクテリア等に見られる発光は化学発光であり、その化学的機構も筋収縮と同じく、生体から抽出された酵素ルシフェラーゼ基質ルシフェリン系を用いて、生体外で研究されている。元来、ホタルの発光器は筋肉の変形したものであり、ATP 関与の仕方も両者に於いて相似である。

発光には、上記のルシフェリン、ルシフェラーゼの外 Mg^{++} , 又は Co^{++} , 又は Mn^{++} , 更にルシフェリンの酸化によつて発光を誘起すると考えられる酸素、エネルギー源としての ATP が必要である。

McElroy によれば、これらは $ATP-Mg$ -ルシフェリン-ルシフェラーゼなる複合体を形成し、これが発光する。即ち、この複合体に於いて、ルシフェリンが酸素により酸化される結果、高エネルギー状態を生じ、

50,000 カロリーものエネルギーが一点に集中出来るようになる。そして、恐らくはルシフェリンのものであろうが、電子が励起されエネルギーは光子として放出されるのである。

以上、筋収縮、電気発生、発光現象等代表的な細胞活動に於いて、ATP が如何に関与するかを、最近の研究によつて見たわけであるが、これらに於いて、ATP の ~P は結局、種々のエネルギー変換体により種々のエネルギーへと変換されるのであり、かゝるエネルギー変換体並びに、変換反応の誘起機構が異なるのみで、ATP 関与の方式は本質的には同じであることは興味深いことである。

結 語

かくて、生体内に於いては、所謂栄養素の化学エネルギーは、複雑な酸化分解により磷酸結合を介して非常な高能率で、ATP の ~P に変換される。そして ATP の ~P はクレアチン磷酸、アルギニン磷酸等のエネルギープールに貯蔵されると共に、必要に応じて再び ATP の ~P となり、適当な変換体を経て、諸種のエネルギー、即ち化学エネルギー、力学的エネルギー、光エネルギー、電気エネルギー等に変換されるわけである。(第7図) この場合、磷酸結合は、生体内に於けるその移動の特性並びに高エネルギー且安定という性質により能率のよいエネ

第7図 生体内エネルギー移動

ルギーの移動、保存に役立つているわけである。恰も、鉄がヘミン系物質を構成することによつて電子移動に必須な元素となつている如く、磷は、磷酸化合物を構成することによつてエネルギー移動に必須な元素となつているのである。かくして、磷の代謝は、實際上、生化学のあらゆる部門にわたつてをり、磷の生体に於ける役割の追求こそは、生命化学本質を理解する上に最も重要な課題といえるのである。(昭和28年1月19日受理)

参 考 文 献

- 1) F. Lipmann, *Advances in Enzymology*, **1**, 99 (1941); *ibenda*, **6**, 231 (1946)
- 2) W. D. McElroy and B. Glass, *A Symposium on Phosphorous Metabolism*, (1951)
- 3) N. O. Kaplan, *The Enzymes, Chemistry and Mechanism of Action*, **2**, 55 (1952)

最近の絶縁材料としての有機合成製品

Synthetic Products as Recent Insulating Materials

山 田 貞 吉

Teikichi Yamada

1. 緒 言

有機物の殆んど大部分は電気絶縁する性質をもっている。最近アメリカで導電性のプラスチックが発明されたことが二、三の技術雑誌に紹介されたことがあるが所謂プラスチックから導電性のものを得ることは却つて困難な事柄である。従つて各種の有機材料が電気絶縁材料として用いられていることは当然のことであつた。絶縁性の強張、物理的、機械的性質の相異等のことから各種の材料が適在適所に用いられているのである。

発電機、電動機、変圧器等の電気機械や送電、通信等

に用ひられる電線、ケーブル類、有線、無線等の通信機器等はすべて材料の性質を基礎として設計されているのであつて材料の性質が向上すればそれだけ性能のよい機械の設計が可能となるわけである。その意味に於て最近の有機合成化学の進歩が電気技術の進歩に寄与する面に極めて大きいものがある。たゞ電気の絶縁材料として用ひられる材料乃至原料はその純度に苛酷な要求がある上に所要量が比較的少い。而もその種類が極めて多数ある等材料メーカーにとつて企業として不利な面があることも否めない事柄である。

筆者は20数年来電気試験所に勤務して電気材料特に有機絶縁材料の試験研究に従事して来たが入所当時の絶

* 工業技術院電気試験所