General Electric Co. 基礎研究所の 生い立ちと Langmuir の研究態度

浅 尾 莊 一 郎*

(昭和 37 年 10 月 30 日 受理)

The Early Days of Fundamental Research Laboratory of General Electric Co.,
and Late Dr. Langmuir's Attitude for Research.

Soichiro ASAO

(Tokyo Shibaura Elec. Co., Cent. Res. Lab., Komukai-Toshibamachi, Kawasaki)

1. 緒 言

われわれの仕事と関係が深く、しかも代表的な工業研究所といえば米国の General Electric Co., Bell Telephone およびオランダの Philips Gloeilampenfabrieken 研究所などが挙げられるか、その中で世界で最も古い歴史を持っているのが G. E. の研究所である。そこで Coolidge や Langmuir などか青、壮年時代に最も華々しい功績を挙げたことは誰も知っていることである。これらの人々が活動したところは Schenectady の基礎研究所であるが、しかしその外に G. E. 会社には技術研究所が諸所に作られているのである。Langmuir がこの世を去って 5 年、今般彼の残した 223 篇の論文を集成して論文集が出版されたに際して、氏の業績の一端と彼の研究態度を書いて偉大なる生涯を忍びたいと思う。

2. Langmuir の功績

G. E. の基礎研究所で Langmuir が大きな功績を残したことはもちろん彼が偉大な科学者であったことによるが、またその反面 Whitney の如き偉い行政的手腕のある科学者が研究所の指導者であったことにもよるので、これは車の両輪とも言うべきものであろう。G. E. 会社に基礎工業研究所を作ったのは E. W. Rice で 1900 年のことで、Western Electric Co. が研究所を作ったのはこれより 10 年遅れて 1911 年で、Bell Telephone 研究所として本当に基礎研究を行うようになったのはそれから数年以後のことであった。

Rice の作った G. E. の研究所は専ら独創的研究、換言すれば新しい事実および法則を求めるための自然現象

探求に当てられるように計画されたのであって、この研究所は技術部から完全に分離した組織を持つようになっていた。そしてそれまで工業界で行われていたように既知の法則を、ある特殊な工業問題に応用する技術研究所ではなく、その目的は新しい科学知識を獲得すること、ならびにこの新知識を応用すべき道を発見開拓することであった。

一般にこのような研究は未知の因子を含んでいるので、いつも一定の目標に向って進められるとは限らない。したがって最初から目的のはっきりした研究計画の方針というものがない訳である。その研究かもし成功したとしても全く予期しなかった方法によって達せられたり、解決された終局の問題は予め考えていた研究主題と全く異なるような場合がありうる。

Rice の創立した研究所の目的が基礎的工業研究にあるにしても、實際上、技術的研究を軽んずることはできないのであり、かつまた、そうすることは望ましいことでもなかった。もし、新しい知識が得られ、その応用が見出されたとき、その仕事をすぐ技術研究所に移管してはならない。発展性のある着想は赤児と同様に、その母親から離乳を急いではいけぬ。新知識とその応用を発見した人のみがその問題に精通しており、かつ深い興味を持っているからである。こんな訳で基礎的工業研究所においても、その活動の半は以上は基礎的よりも技術的研究であったようである。ここで Langmuir の研究について述べる前に Whitney の人となり、その頃の研究所の様子について一言触れておきたい。

Whitney は MIT で化学を勉強し、1890 年 22 才で母校の講師となり、やがて教授になって教えることに生きかきを感じていた。その頃 Rice が Whitney に G. E.

* 東芝中央研究所 (神奈川県川崎市小向東芝町)

Coolidge は種々の異った方法で作られたタングステンの性質について基礎的研究を行っていたのであって、その一つにおいて真空中で熔融したタングステンの小粒を鋤打ちすると小さな破片に壊れてしまったのであるが、その破片を注意深く鋤打ちして顕微鏡で調べると、その破片(結晶粒)のあるものは多少可鍛性があることを発見した。(今日の知識では金属を脆くする不純物は粒界に集っていて、粒子そのものは純粋で可鍛性がある)この発見から Coolidge はタングステンをダイスで引くことができるかも知れないと希望をえた。しかしそれまでに得られた脆い材料では成功の望みがなかった。

その後室温で脆いタングステンも 400°C 以上に熱すると曲げうることがわかった。直径 3mm の脆いタングステン棒を作り、それを 1500°C に保ちながら鋤打ちすると機械的細工ができるようになり、最後に室温でダイヤモンドダイスで線引きができるようになった。大抵の金属は低温で機械的作業を行うとますます脆くなり、したがって線引きを続けるためには、ときどき高温に焼鈍する必要があるが、タングステンの場合には高温に熱すると、それまで機械的作業によって得られた延展性が無くなるのである。すなわちタングステンの線引きは他の金属について得られていた既知の知識とは相容れない新しい知識によってのみ可能となった。Coolidge が線引き用タングステンを作るのに用いた用法は大体今日と同じもので WO_3 を熱して、その上に水素を通して還元し、得られた粉末を水圧機で棒状に押圧する。それを 1500°C の水素中で一度予備焼結し、ついでそれに電流を通して水素中で熔融点近くまでに加熱する。

この際細かいタングステン粉末を用いると、酸素含有量が多いため、できあがった棒が脆くて機械加工ができなかった。そのため、できるだけ粗い粒子をうることを試みたところ、できあがった棒は楽に機械作業ができた。そのとき WO_3 を還するつぼとして Battersea という会社製のアルミナに富んだ材料からなるつぼを用いると、でき上ったW線は offset を起さないことを偶然に発見した。最初の間は何かこの好結果をもたらしたかは思い当らなかったが、その後の研究によって、つぼ中に含まれている微量 Al_2O_3 、 ThO_2 がタングステン中に混入すると満足な線が得られることがわかった。今日の電球のフィラメント用タングステンには K_2O 、 Al_2O_3 、 SiO_2 などの極微量が混入されているのであって、これを混入すれば何故に大きな結晶に成長して off setting の現象が起らなくなるか今日といえども十分に説明し尽されていない。とにかくこの off setting の一現象が除かれるようになって始めて線引きタングステンが電球の工業的製造を可能ならしめた。

この線引き可能なタングステンの発達はそれまで全く知られていなく、また予想することもできなかった問題を一つ一つ開拓してなされたもので、研究途上で新しい知識が得られた上で始めて成功の望みがかけられるようになったものである。

4. 織条のガス含有度の研究

Langmuir は 1903 年コロンビア大学の冶金学科を卒業し、1903年から1905年までの間ドイツ Göttingen 大学の Nernst 研究室で、学生として Nernst 発熱体に関する物理的研究を行い、帰国して1906年から3年間 Stevens 大学の講師をつとめ、それから1909年に G. E. の研究所に入っている。彼が入所したときに Whitney は一定の仕事をもつことなく、ただ研究所の各室を参観し、多くの人のやっている仕事をよく知るように命じた。そしてその後、何が一番興味深く感じたかを話せと命じた。その当時タングステン線の off setting の問題が未だ解決されていなかった。そのとき彼は off setting の起る原因は織条の中に含まれているガス不純物に起因するのではないかと考え、高度の真空中で織条を熱して放出されるガス量を測定したいと Whitney に申し出た。研究所を参観して廻ったときに研究所の排気装置は大学におけるよりも優れており、新しく作られたタングステン線を用いれば、それまで化学者が企てることのできなかった状態における化学現象の研究——低圧と高温に於ける化学反応に関する全分野——が展開されると考えた。この新分野に対する興味のため、最初の工業研究の題目として織条のガス含有度の研究を選んだのであった。

そこで織条からのガス放出の測定を行ってみたところ、織条からその容積の何千倍という多量のガスが放出され、しかもいつ止むとも知れなかった。始めの間はどこからそれ程多量のガスが出て来るかわからなかったが後になって、それはガラス壁から水蒸気が出ること、ならびにガラス磨合せに用いられたワセリンの蒸気が分解して水素が作られることによることがわかった。

それからは別に定まった計画もなく与えられた条件下で硝子壁からどのくらいの水蒸気放出するか調べる実験をした。その際水蒸気の微量がある場合タングステン織条をさらに高温に加熱すると水素がなくなることを見出した。この現象はすでに研究所で clean up 効果として知られていたことであって、彼にはとくに興味あることであった。彼は液体空気ガラス球を冷やして水蒸気の影響をさけ、水素のガス圧力を変え、水素の消失の様子を調べた。そしてこの水素は硝子球の表面に吸着されて消失することを知った。またタングステンを

水素中で加熱するに要するエネルギーを測定したところ、高温になる程ガスによる熱損失が著しく増加するのを見た。3400°Cにおける繊維条からの全熱損失は温度の10乗に比例する。そして2500°C附近から異常に速い上昇が起った。原因は水素分子が原子に解離することによるのを知ったのであった。

この熱による水素の解離の可能性を念頭において、氏は加熱タングステン繊維条をつけたガラス球内において低圧で封入した水素がclean upされるのは水素原子の解離によるものと考えた。それまでに水素原子を遊離した人もなく、化学的性質を知っている人もなかった。多分強い不飽和化学親和力のために水素原子が硝子壁に密着し、もし硝子面がすでに他の水素原子で覆われている場合、新たに表面に到着する原子は吸着原子に衝突して水素分子を作って表面を去る。ガラス表面にあたる原子はそこから水素分子を遊離することもできるが、すでにガラス表面についている原子の仲間入りすることもある。このことからLangmuirにガラス面上に化学的に活性のある物質の単原子層ができること、そしてそれ以上の厚さには発達し得ないらしいことを始めて思いついたのであった。それから水素以外の酸素、窒素、アルゴンなどの低圧における化学作用をも研究し、それぞれのガス特有の現象を調べた。

5. 水素分子の解離現象の研究

しかし、もっとも彼が深く研究したのは水素分子の解離現象であって、それによって前述の水素中における異状熱損失は分子の離解によることを証明することができた。一方、この理論を確かめるため、解離しないガス中における熱損失の測定を行った。そして大気圧の窒素中でタングステン繊維条を熔融点近い温度に熱したとき、真空中で同温度に熱する場合よりもはるかに長い寿命を保つことを知った。これは一たんタングステンから蒸発した大部分のタングステン原子が窒素分子と衝突して再びタングステン繊維条上に戻ることによることを知った。

以上のように入社後の数年間Langmuirが行った研究は新しい現象に対する知識を得るがためのものであって、研究された現象の多くは白熱電球の基礎的問題に関するものであったが、必ずしもその方面に限られていなかった。工業の目的に応用されるということよりもむしろ科学的好奇心から選ばれて題目を選んでいった。彼はほとんど三年間、数人の助手と一緒に研究結果から別段実用的な応用を生み出さないうまに研究していて、彼は自分の仕事の応用については少しも考えていなかった。それで、工業会社にいて自分の時間をこのような純科学的研究に費してよいものだろうかという疑問をしばしば抱

いたのであった。そして折に触れ所長のWhitneyに相談に行き、自分の研究が将来どんな具合に発展するか見当がつかない旨を述べたのであった。

Whitneyはそれに答えて、定まった応用は考えなくてもよい、自分の希望することはどんな方面でもよいから白熱電球や加熱繊維条に関して一層深い知識を提供してくれるような研究をして貰いたい。そして君が興味深く感ずるものは何でも自由に研究してよいと言ったのであった。Langmuirをして安心して大きな仕事をなさしめたのは一つにWhitneyの指導理念がよかったことによるものと思われる。

6. 白熱電球と黒化現象

当時研究所全体がタングステン電球の改良に興味を持って、電球の平均寿命を改良することも大きな問題になっていた。その当時電球の線が切れる前に黒化現象のために使用に耐えなくなったのであった。この黒化現象に対して誰もその原因がわかっていない。唯、排気がよければそれに連れて黒化が遅くなることだけしかわかっていなかった。とくにWhitneyが真空の改善にあらゆる努力が払われるべきであると信じていたのであって、研究室の全部の人の経験から、電球の改良に対する最善の道は真空の改善にあるように考えられていた。ところでLangmuirはどうしたら一層高度の真空が得られるか分らなかったで逆に種々のガスを封入することによって、種々のガスの悪影響を研究しようと考えた。この方法によってガスの及ぼす効果を完全に研究し、それに基づいてガス圧が零のときを外挿的に推定し、実際には完全真空を造り出してみなくても、完全真空の電球の性質を予知できたと思った。

Langmuirはこの研究方針が多くの場合極めて有用であることを知った。ある望ましからざる因子を除去することによって有利な結果が得られると想像される場合、これらの原因を除去することが困難であるとき、これらの原因の一つ一つをその悪い影響が誇張されるように逆に増大させてやるとよいことを知った。こうして、これらの原因の性格を熟知してしまうと、それらの除去が果して真に好結果をもたらすか否かを決定することができた。例えばいま電球内の真空をできる限り高度に保ちえたとしても、もしその圧力を現在の100分の1に下げたならば、さらによい電球が得られるだろうと想像されるとき、真空の改善方法を試みる代りに、わざと圧力を高くしてみるのが賢明な策であって、それによって果して真空の改善が必要であるか、あるいはどの程度の真空にすればよいかということが分ると考えた。

こうして各種のガスの効果を研究するためにLang-

muir は新しい型の真空装置を考案しなければならなかった。とくにタングステン電球の中に存在する微量のガス分析も必要となった。たとえば窒素の消失の割合と織条の重量減少とを比較した結果、蒸発したタングステン 1 原子毎に窒素の 1 分子が消失することが明らかになり、褐色の化合物 WN_2 が生成してバルブに附着した。もしここに水蒸気があるとアンモニアガスができて分解することを知った。いろいろのガスのタングステンに対する作用を調べた結果、水蒸気だけがバルブを黒化することが分った。その黒くなる原因は水素原子が重大な役目を演じている循環反応によることを発見した。すなわち白熱織条に水蒸気が触れると、タングステンの表面に WO_3 が作られるが、それが蒸発しやすいのでバルブ壁上に沈積する。一方、水の分解によって生じた加熱タングステンによって原子に解離され、それがガラス壁に達して WO_3 を還元する。この際生じた H_2O は、また織条に戻って同様な作用を反覆するのであった。かくして極めて微量の水分が相当量のタングステンを織条から壁へと運搬することになり、電球が黒くなる原因となった。

その後、注意深く作られた電球を、切れるまで完全に液体空気の中に浸して、幾つかの試験を行って見たところ、黒化の程度は液体空気を用いない場合と全く同じであった。結局、良く排気された電球の黒化は純粹の蒸発だけによって起ることが証明されたので、若し完全真空の電球を作ったとしても、電球の寿命は実用的な意味で改善されることはないという結論に達したのである。

7. 神秘的な現象に好奇心

こうして 2 カ年にわたった研究は多くの人々が望んでいたような残留ガスの害は見出されなかったという陰性の結末となったのである。しかし Langmuir は次のように告白している。「本当のところ、私は単に電球の中に起る神秘的な現象に好奇心をもったに過ぎない」。それは彼が懲っていた知識であり、事実彼はその知識を得たのであって、彼の見方からすれば、研究は一つの成功であった、Whitney が Langmuir に言ったところによると、「その仕事が何かの目的に通ずる」必要はない。しかしそれは間もなく白熱電球の非常に大きな改善——ガス入り電球——に発展していったのであった。

Langmuir が行った種々の温度における織条からの蒸発速度の研究では、真空中と各種の圧力における不活性ガス中との両方が調べられた。彼は 1 気圧の窒素ガス中ではタングステンの蒸発速度が全く予期しない程度に抑制しうることを発見した。しかし窒素ガスは織条からの熱損失を増大させて効率を低下させた。そこでガスの効

果によって蒸発速度をおさえ、織条を一層高温、高輝度にするように電球を設計することができないであろうかという問題について考えられた。

Langmuir は以前ドイツで Nernst のところで Nernst 灯についての熱損失の研究をして、白熱状態にあって直径の異なる織条からの熱損失は、細いほうの単位面積当りの熱損失は太いものよりも非常に大きいことを知っていた。たとえば、直径 1 mil のタングステン織条、すなわち 25W 電球に使用されている織条では、大気圧の窒素中で点火すると $2400^{\circ}K$ で 1 燭について 4.8W を消費するに対し、真空中では 1W で済む。ガス入電球の能率を真空電球のそれにするためには $2400^{\circ}K$ から $3000^{\circ}K$ に温度を上げねばならない。そのとき蒸発の割合が 2000 倍増加するのでガスによる蒸発抑制の効果が発揮されない。この理由から、太い織条を以てガス入電球が作られ、真空電球の能率 1W/C に対し $0.3W/C$ のものが作られるようになった。しかし、この電球も黒化によって有効寿命が短かったので失望に終った。

この結果は当時、多くの電球技術者が予期していたことであって、ガスによって蒸発を抑制する量よりも、高温にしたための蒸発が多いことを示すものと考えられていた。もしこのとき彼がそれまでに種々のガスの性能を熟知していなかったならば、この失望的結果によって、この方向に実験を続行することを断念したかも知れないのであった。しかし彼がタングステンと窒素との反応に関する知識によって透明な褐色の附着物を予期していたに拘らず、その短い寿命中に電球は黒化するだけであった。それでこの黒化の原因はただ水蒸気あるのみと感ぜられた。勿論、そのとき水蒸気を除くため注意は充分払われていたのであったが、そこで電球のガラス・バルブを大きくし、ガラスが過熱されぬようにし、したがってガラスから水分が出るのを避けた。かくして寿命が 1000 時間、真空電球より 30~40% 高能率の電球を作ることができた。

この高能率のガス入り電球も 500W 以上のものに限られていた。しかしその後になって細い線を密にコイルに巻いたものは太い線と同等の効果があることが発見され、そこで始めて 40~50W のガス入電球が発明された。そして窒素よりも伝導の低いアルゴンが商品として利用できるようになって今日に至った。かくしてガス入電球の発明は Langmuir が水素原子を研究する目的で行った実験の直接的結果であった。

8. 放電現象の分野へ

Langmuir はそれから次第に放電現象の分野に入って行ったのであるが、それは純然たる科学的好奇心から出

発しているものであった。そのことの起りは白熱電球が放電によって損われないうちで利用できるのは何故であるかを調べたかったのであった。1912年にガラス球内に2本の鉄条を張って、電気化学的 clean up に関する組織的実験に着手した。この実験で clean up によって消失するガス量を測定すると共に、一つの極を高温に保っておいて両極間に流れる電流の大きさを測定した。ある実験において圧力が 3×10^{-4} mmHg 以下になると放電の様子が急に変わることを発見した。たとえば電流が 18mA から急に 4mA に下った。その当時、研究所の他の人の実験で白熱電球の相距った部分が異った電位にあるにもかかわらずその間に 1mA 位の小さい電流しか流れていないことがわかっていった。

この事実は Richardson の研究のことを知っているものには奇異に感ぜられた。すなわち Richardson が 1903年に発表した実験は 2000°K 以下のものばかりであったが、タングステンを用いれば 3000°K にすることは容易であり、そのとき、式からは数 100A の電流が放出されねばならないのであった。しかし実験からは数 mA しか電流が得られなかった。

熱電子流は高度の真空になると次第に消える傾きがあつて、理想的な真空になると電子が蒸発しうるか否か疑問だという結論を出した論文が多くあつた。そしてガスのある作用が電子を放出させるのに必要であるという意見が多いのであつた。

このような事情にあつたとき、高周波発電機の発明で当時有名であつた G. E. 会社の Alexanderson が Langmuir を訪れて De Forest のオージオン球に高出力を与える方法がないかと尋ねたのであつた。当時のオージオン球は 30V までの陽極電圧 0.1mA 以下の電流で使用されていたのであつて、これより高い電圧になると、グローが発生して作動が不安定になり、寿命は短くなるのであつた。Alexanderson の言はたちまち Langmuir の興味を惹き起したのであつて、なぜ電子放射にガスが必要なのだろうかということが彼をとりこにする謎であつた。そこで早速研究に着手した。

9. 高度真空の真空管

前に電球の黒化の研究ではそれまで誰れも造り出し得なかつた高度真空を作る方法と、それを測定する方法を考え出していたので、この方法を用いて彼は高度真空の真空管を造って研究を始めたのであつた。Langmuir は残留ガスは電子の放射には無関係であるが、電子が陽極へ通過する際、空間に影響を与えることを発見した。高度に加熱された鉄条は高真空内に電子を放出するが、こ

れらの電子は陰電荷の微粒子であるから空間に陰電荷がたまり、それによって後続の電子を反撥して電子が陽極に向つて進むのを阻止するのである。残留ガスの効果は電子とガス分子の衝突によって陽イオンを造り出し、電子による空間電荷の影響を中和するのにあつたのである。そこで Langmuir は電極を互に接近しておき、十分高い電圧を加えれば最高の真空中でも狭い空間を横切つて電子を引きつけ、かなりの電流を通すことができることを明かにした。高い電圧が使えることは高出力を意味するのである。かくして Alexanderson が希望した電力増巾管が作られた。そして当時彼は予想していなかつたが、後年ラジオ放送が開始されるに及んで、これが放送局の最も大切な道具となつたのである。

Langmuir は早速 Coolidge にその「空間電荷」の発見と高真空内における「純電子放電」について報告したが、それは Coolidge にとってX線管球の革命的变化を暗示することになった。当時のX線管球はオージオン球と同様、少量の残留ガスが入つていて、その存在が管球の働きに必要なものであつた。管球にはアルミニウムの冷陰極があつて、それにガス分子が衝突することによつてのみ電子を放出することができたのである。管球の性能は存在ガスの量に支配されるが、その量は一定量を保つていなかった。管球を働かせるとガスの一部は管球のガラス壁に打ちこまれて消失するのである。結局管球は高真空になりすぎるので、それを使用できるようにするには、ガスを入れて低真空になおさなければならない。こんなわけでX線の応用はまだ不確実で医師が使うには実に不便の多いものであつた。

Coolidge は Langmuir の発見にヒントをえて新しい考えを發展させた。もし加熱タングステン鉄条がアルミニウム陰極に置きかえられ、管球が高度に排気されたならば、電子放射は残留ガスの不確実な状態に支配されなくて、ただ鉄条の温度にのみ支配されることになるはずで、取扱者はそれを正確に調節できるはずであつた。結果は予見することができ、X線の応用は不確実な技術から正確な科学へと転換することになるはずで、かつ高出力のものになるはずであつた。

実際に Coolidge は彼の考えが正しかつたことを証明した。そして Coolidge 管は急速に古い型のX線管に置き代つた。そして診断と治療に汎用されるようになった。

タングステン鉄条によつて、管内の水素が clean up されるとき、ガラス壁面に水素原子となつて吸着し、しかもその厚さが単原子層のものであることを Langmuir が発見したことをすでに述べた。その後、酸素ガスがタングステン鉄条に及ぼす影響を調べたところ、酸素の単

原子層がタングステンの表面に作られるとき、それが電子放射や化学的性質に大きな変化を与えることを証明した。かくして次第に表面上の吸着膜の性質に対し興味を持って行った。Coolidge がタングステンの off setting を防ぐ目的で ThO_2 の微量をタングステン中に入れたのであるが、1913 年に Langmuir はこの織条が適当な条件の下で、タングステンの表面上にトリウム単原子層の膜を作ることを発見した。これによって 1500°K において電子放射が 10 万倍増した。これが後にラジオ放送の受信管として、大量に使用されることになった。その後、タングステンの上に酸素の単原子層とセシウムの原子層をつけたトリウムより電子放射率のよいものも研究した。さらに水の上、あるいは個体表面上にできる油の単分子膜についての研究に入って行ったのであって、かくして “Surface Chemistry” の基礎を築き上げたのであった。そしてこれによって 1932 年にノーベル賞をうけた。この仕事に関連して彼は生物化学にも興味をいだくようになった。

Langmuir の基礎研究から生れたもので、全く思いがけない副産物となったものに、金属の熔接に用いられる原子水素トーチがある。すでに白熱電球の研究で 1 気圧 3400°C の温度にあるタングステン棒に水素が触れるとほとんど完全に原子に解離することを発見していたのであるが、後年 Johns. Hopkins 大学の R. W. Wood が Langmuir を訪れて低圧の水素中の放電で、ある説明のつかない現象が起った最近の実験の話をした。Langmuir はその現象が電球の実験で見出した水素の解離によって説明できることを知ったのであった。Wood の実験はまた Langmuir に水素が原子の状態を彼が考えていたよりも長時間持続できることを明かにしたので、彼は新しい熔接法すなわち原子水素トーチランプを考え出した。彼

は水素ガスの流れがタングステン電極間の電弧の中を通過して原子状の焰をつくるようにした。この焰は再結合の際、多量の熱を発するので従来のどの熔接焰よりも高温度が得られるばかりでなく、熔接を困難にする表面の酸化物をも還元することができたのであった。

10. 結 言

以上、主として Langmuir がとって来た研究態度と、それから得られた大きな業績を顧みて述べたのであるが、研究の応用の多くは基礎研究から生れた副産物であって、全く予期されていなかったものであった。ガス入電球の場合でも、より良い電球を作りたいことは誰しも考えていたのであるが、電球工業に従事している者の経験からは、電球にガスを封入すればそれを悪くすることはあっても改良する方法とは思われていなかったのである。実際 1912 年窒素を 1 気圧封じたタングステン電球では能率は却って低下したのであった。ガスを封入した電球で織条をどうすればよい電球を設計することができるかということに希望が現われたのは、それに関する現象が十分理解されてから後のことであつた。

かようにして大きな基礎的研究がどんな具合にして行われ、そこから新しい応用が生まれるようになったかを真空工学と縁の深かった Langmuir を中心に G. E. 会社の研究所の若い時代のことを述べた次第である。

〔文 献〕

- (1) Langmuir の日本における特別講演「基礎的工業研究」、電気学会誌、213頁（昭和10年3月）
- (2) L. A. Hawkins “The Story of General Electric Research”（日本訳あり）

（附記）

Dr. Langmuir の生涯を記念して London の Pergamon Press から Langmuir 全集が出版された。編集は Bridgeman, Alpert, Debye, von Engel 等真空にもなじみの深い世界的学者40名の委員会で行はれ、その長は現 G. E. 副社長兼研究所長 Dr. Guy Suits になっている。全巻は12巻にわかれ、各巻は下記のようなテーマ別になっている。内容はすでに発表された論文はもちろんのこと、とくに戦時中の研究で未発表になっているものすべてを網らしており、また各巻には、その巻にもられたテーマについての権威者による解説と紹介の一文がのせてある。

Vol. 1 Low-Pressure Phenomena.

Vol. 2 Heat Transfer-Incandescent Tungsten.

Vol. 3 Thermionic Phenomena.

Vol. 4 Electrical Discharge.

Vol. 5 Plasma and Oscillations.

Vol. 6 Structure of Matter.

Vol. 7 Protein Structures.

Vol. 8 Properties of Matter.

Vol. 9 Surface Phenomena.

Vol. 10 Atmospheric Phenomena.

Vol. 11 Cloud Nucleation.

Vol. 12 Langmuir, the Man and the Scientist.

真空に関心の深い方には Vol. 1, 3, 9 がとくに縁がありますが、いずれにしても Dr. Langmuir の人物、業績を知るには不可欠の全集である。