慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	わが国の電灯事業導入時の諸基盤について：アメリカの実用化過程との比較考察
Sub Title	A study for the historical conditions on the formation of electric-lighting industry in Meiji Japan : comparative survey with the developing process in the United States
Author	吉田, 正樹(Yoshida, Masaki)
Publisher	慶應義塾大学出版会
Publication year	2008
Jtitle	三田商学研究 (Mita business review). Vol.50, No.6 (2008. 2) ,p.127- 139
JaLC DOI	
Abstract	江戸末期，アメリカやヨーロッパの社会を訪れた使節団員と留学生は，広範囲に機械と科学技術が利用されている現実を目にして，機械技術は国力を飛躍的に増大させ，強化させるために不可欠との認識を得たのである。しかし彼らの現実感覚は，やがて第二次産業革命の原動力となるが，当時はいまだ開発途上にあった電気技術から，関心をそらせてしまった。後になり，この欧米の最新技術は雇用外国人の個人的努力によって日本に紹介され，電灯導入につながる歴史をたどることになった。またアメリカの電灯産業形成の歴史によって明らかになるのは，日本の電灯産業の特殊な成長過程と，両国間の社会経済的基盤の相違であった。
Notes	商学部創立50周年記念 = Commemorating the fiftieth anniversary of the faculty 50周年記念論文
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234698-20080200-0127

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

三田商学研究
第50巻第6号
2008 年 2 月

2007年12月17日掲載承認

わが国の電灯事業導入時の諸基盤について

——アメリカの実用化過程との比較考察——

吉　田　正　樹

＜要　　約＞

江戸末期，アメリカやヨーロッパの社会を訪れた使節団員と留学生は，広範囲に機械と科学技術が利用されている現実を目にして，機械技術は国力を飛躍的に増大させ，強化させるために不可欠との認識を得たのである。しかし彼らの現実感覚は，やがて第二次産業革命の原動力となるが，当時はいまだ開発途上にあった電気技術から，関心をそらせてしまった。後になり，この欧米の最新技術は雇用外国人の個人的努力によって日本に紹介され，電灯導入につながる歴史をたどることになった。またアメリカの電灯産業形成の歴史によって明らかになるのは，日本の電灯産業の特殊な成長過程と，両国間の社会経済的基盤の相違であった。

＜キーワード＞

電灯，瓦斯灯産業，照明システム，技術開発競争，特許，白熱灯，エアトン，ダイエル，中央供給式，電信

1．はじめに

1860年以後の幕末におこなわれた欧米使節団随行や留学は，生産技術と機械が社会の中において利用されている様に触れ観察できた，日本人にとって最初の機会であった。こうした見聞をとおして，西洋文明の実情が国内に紹介され，技術導入を後押ししていくことになる。すでに洋書の翻訳，幕府への機械や模型の献上，さらに工作機械，蒸気機関を設置した洋式造船場の建設等により，西洋技術の一端は日本国内に伝わっていたが，社会に利用されている実際を見聞し，その成果を理解するうえで，欧米使節団と留学は特別な意味を持つものであった。

鉄と蒸気を用いて疾駆する鉄道機関車を見るだけでも，留学生や随行員に——その見聞録の多くは彼らが鉄道利用を好んだことを語っている——強い印象を与えたと思われる。機械文明と高揚する国力の象徴としての鉄道は西欧技術を代表するものであったが，しかしながら日本が欧米に接し始めた1850年代から60年代のアメリカとヨーロッパは，鉄道や蒸気機関のほかに多くの技術を登場させ，生産を拡大した時代であった。

生産拡大に力強さを与えた時代的な要素のひとつは，数多くの開発者が登場してきたことである。工場経営者に生産活動従事者さらに自称発明家から大学人まで，多様な動機の下に開発研究の取り組みに参加しており，なかでも経済的成功を動機に持つ者の台頭は，19世紀後半から20世紀に向かう時代の特徴をよく現わしていた。かれらの発明は特許化され，経済的報酬を期待させたのである。特許制度は個人の発明成果を社会が素早く吸収する効率的制度として機能することになり，こうして研究や実験の成果を他人に売り込む発明家から大学教授にいたるまで，持続的な実用化に向けた活動が刺激されていった。そのなかから良質な鉄鋼の大量生産化，効率的水車開発と蒸気機関の改良，新しい動力機となる内燃機関の試作，やがてアメリカ方式と呼ばれ普及していくことになる互換性部品生産方式の確立，工作機械と精密測定機器の性能向上といった技術を，19世紀中葉から開発者は産業社会に還元していった。

もうひとつの生産拡大の要素は，鉄の大量生産を促した技術の出現であり，この技術革新によって機械は木製から鉄製へ移行を早め，これは機械の精度と耐久性の改善，ならびに機械の大量生産につながり，世紀末の大量生産時代の基盤形成をもたらすことになった。機械の鉄製移行を含む技術利用の多様化という新時代を迎え始めたアメリカとヨーロッパを，留学生と使節随行員たちは訪れたのである。[1)]

2．電気技術および近代照明との接触

いつの時代においても，人々の接する技術は工場のなかでおこなわれる一部分に過ぎない。成功をめざす試行錯誤の繰り返しのなかにあって，成功した技術の背後には陽の目を見ることなく放棄され，あるいは撤退していった数多くの開発努力の存在があり，評価され普及にいたる研究開発は一部に過ぎない。さらに開発途中にある技術の公開はより厳しく制約される事情により，社会全体の技術力を外からうかがい知ることは，欧米の人であっても至難であったと思われる。日本から訪れた留学生や随行員にとって，技術，機械の利用方法やその効果を理解し，納得することは容易なことではなく，知りえたのは技術の一部に過ぎなかった。さらに留学や随行より少し後の時代に実用化にいたった技術ならば，特許化に向けた秘密裏の研究段階にあり，なおさら開発過程を見聞きできる機会は閉ざされたことになる。

しかしかれらにとって一層の難問は，実用化への試行錯誤におかれた原動機や動力機を含む機械類の改良や開発が，産業と社会にもたらす経済的価値を評価することであった。「資本主義発展のバロメーター」あるいは「産業機械の母」と称された工作機械技術が急速に進歩した時代にあって，開発や改良がもたらす経済的意義を理解できた人は，生産活動に直接従事する産業人を

1） 1863年の長州藩による留学生派遣（密出国）をみると山尾庸三，井上勝などは政変による伊藤博文の帰国後も英国にとどまり，工場勤務をとおして造船，鉄道，鉱山の諸産業の実態に触れている（旧工部大学校史料編纂会編『旧工部大学校史料・同附録』青史社，1978年，復刻版，p.203）。また五代友厚が参加した薩摩藩による欧州留学生派遣では，1865年から翌年にかけて，若い藩士たちが各国の製鉄所をはじめ多数の工場を精力的にまわり，機械の発達と利用の現状をつぶさにみていたことが分かる（宮本又次『五代友厚伝』有斐閣，1981，p.47）。

表　19世紀の主な発明と日本人

日本人の西洋との接触	欧米の主な技術・発明
	1800　ボルタ，電池発明
	1837　モールス，モールス電信機製作
	1844　電信線敷設始まる
1840年代 オランダ語による西洋技術の翻訳が盛んになる。蒸気機関，機関車，電信機等の知識が導入される	1845　これ以後のアメリカ国内，多数の電信会社設立，急速な電信網の建設と統合化の進展
	1850　強力な水力タービン（フランシス型）出現により原動力とエネルギー生産力拡大
	1851　第１回ロンドン万博に多数の機械出品 英仏間に電信線敷設成功
1853年　ペリー浦賀に来航	1854　高性能工作機械（プラットのフライス盤等）と万能型工作機械の出現（シャープのフライス万能盤），以後も工作機械の開発と改良が続く
1858年　日米修好通商条約	
1860.2　咸臨丸米国訪問・幕府使節団渡米	
1862.1　遣欧使節団仏・英・蘭・普等へ	1855　鉄鋼の大量生産方式（ベッセマー法）実用化に成功。これ以後，機械材料，レール等に鉄利用が急速に広まる
11　幕府による最初の留学生渡欧	
1863.6　長州藩士英国へ密出国して留学	
1863.12　幕府使節団欧州へ	1850年代後半　互換式生産方式が銃器，時計から自転車，ミシン，タイプライター生産に拡大。工業製品の大量生産化
1864.7　新島襄米国へ密出国	
1865.4　薩摩藩士英国へ密出国して留学	
1865.5　外国奉行等軍事調査のため渡欧	1858　内燃機関の実用化，以後改良が進む
1865.6　幕府によるロシアへ留学生派遣	1862　４サイクルエンジン開発に成功
1866.5　海外渡航を幕府許可。この年日本人留学生の渡航相次ぐ	1866　大西洋に海底電信線敷設
	1867　精密測定器の改良，急速な普及
1867.2　福沢諭吉幕府命に従って渡米	1870　グラム，実用的発電機を完成，以後の電灯実用化にむけ開発競争活発化
	1875　クルークス，ガラス球の真空化技術を完成

資料：『近代日本総合年表』第３版，岩波書店，1991。The Cambridge Economic History of Europe，第６，７巻。L. T. C ロルト『工作機械の歴史』磯田浩訳，平凡社刊，1993。中山秀太郎『機械発達史』大河出版会，1987。The Economic History Review 等より作成。

別とすれば，限られた人たちであった。技術開発の評価は多くの場合，産業社会がこれを継続して利用するなかで生まれるため，当時，ここを訪れた日本人にとって，新技術あるいは改良技術や機械がもたらすはずの，生産性や効率性への効果を理解することは困難であった。

また留学生や使節随行員の機械と科学技術に関する知識や経験は十分とは言えなかった。かれらが日本国内の諸産業の現状を考え，また比較したとき，必然的にその関心は実用化され，普及している技術と機械へ向かい，その生産能力や効率について情報を集中したと思われる。実用化以前の，不確実な研究や開発よりも，現実に産業社会に投入され，生産活動に活動している機械と製造技術を重視し，これを国内に導入しようとしたのである。いっぽう，未完の開発途上の技

術に対して，関心が希薄になったとしても不思議はない。

このことが典型的に現われたひとつが電気の実用化であった。アメリカとヨーロッパが開発にしのぎをけずり，その研究蓄積に目を見張るものがあったにしても，実用化の成功前に，その効用を理解することは日本人に困難であった。しかも，システムとして成り立つ電灯照明技術は電球，発電機にいたる個々の開発成果だけでは，実用化がどの段階に進んだかを推測するのは困難であった。システムとして商業的に成功するかは，個々の技術開発の成功とは別次元であり，統合した技術として完成しなければならなかった[2)]。

電球開発者は電球実用化に専念し，発電機開発は別の開発者が取り組むなかで，諸技術を統合して成り立つのが，電灯技術の実用化であった。発電機はファラデーの磁石誘導理論に基づいて，数々の技術改良を重ねていたが，日本人が欧米を視察した当時はグラム発電機の出現以前であり[3)]，電球はアーク等と白熱灯のいずれもが効率と経済性において，社会が受け入れる実用的段階には到達していなかった[4)]。多くの開発者を引き込んだ最初の商業化競争でありながら，いつ，

---

2)　電気実用化の歴史からみると，イギリス人のスワンとアメリカ人のエジソンの二人が白熱電球を完成させたことについて，異論の余地はあまり無いといってよいだろう。しかし商業化の実現は個別の技術完成のうえで，システムとしてこの技術を組み合わせなければ完成しない。この視点から両者をみると，システムとして電灯照明をとらえ，個々の技術開発と統合を徹底して追求し，実現したのはエジソンである。英国がエジソンに先んじて白熱灯の発明者に位置づけているスワン（J. W. Swan）に欠けていたのは，電灯照明をシステムとして完成させる諸技術の結合であり，このシステムの構成要素として電球，発電機，配電といった全体として稼動させる用意，準備を欠落したとされる（Arthur A. Bright, Jr.「*The Electric-Lamp Industry: Technological Change and Economic Development from 1800 to 1947*」The Macmillan Company, 1949, p.55）。結局，スワンに欠けた要因は発電機や送電線に対するシステム作りの認識であったから，電気照明技術の商業化に最初に成功した者としてエジソンを挙げることになる。エジソンがシステムの最適化を考えたときの重要な基準はコストであった。たとえば電圧設定では，送電用の銅線コストを抑える意図と電圧一定の直流の性格と電球フィラメントの発光を組み合わせ，性能とコストの対立を解消できると判断して，110ボルトを選択している。

3)　ファラデーの発見した電磁誘導現象を発電機に応用する試みは，翌1832年の H. Pixxi に始まり，Saxton（1833），Clarke（1836），Nollet（1850），Page（同年），Holmes（1853），さらに1856年の C. W. Simense につながっていった。日本からの遣欧・米使が訪問した前後も Pacnotti（1860），Wilde（1861），Varley（1866）また C. W. Simense による重要な進歩がなされていたが，グラムの電機子を改良した開発（1870）によって発電機は実用化の時代を迎えた。

4)　アーク灯電球開発に関しては特許を取得して社会に現われた技術は枚挙にいとまがないといってよいが，これは電極および電流安定器の改良に加えて，システムとして完成度を高める必要があったためである。アーク灯電球に関しては，1844年の Leon Foucault，45年の T. Wright 以降，英仏両国を中心に開発が進んだ。主なものとして挙げられる Staite（1846, 1847），Allman（1848），Archereau（同年），Petrie（1849），Pearce（同年），Roberts（1852），Binks（1853），Chapman（1855），Lacassagne（1856），Serrin（1857），Shepard（1858），Clark（1859）はその一部に過ぎず，毎年のように特許を得た技術開発があったことが分かる（Arthur A Bright, Jr. 前掲書 pp.25-26）。アーク灯の商業化に向けた開発は発電機性能の向上とスパイラルな関係にあったが，最終的には1876年の F. P. Carre によって実用化水準に到達した。1815年に始まったとされるアーク灯点灯の試みは電池能力の制約により一時期停滞するが，ボルタ電池の改良による蓄電能力の向上が進むと，これを前提にしたアーク灯の発光力と点灯時間改良の技術開発競争が上述のように促されたが，発電力不足が商業化の足枷となり，これはグラムの発電機の登場を待って解決可能な段階を迎えた。

いっぽう白熱灯開発に関しては，システム構成の制約が技術開発の速度を進めたり，遅らせたりした事実に変わりは無かった。発生電流の不足が白熱灯の実用化に疑問を投げかけた点ではアーク灯の歴史と同じであり，電球開発の持続を困難にしたといわれる。1809年の De La Rue は，プラチナを原料として螺旋状に巻いたフィラメント線，低真空化，銅入ガラス球の組合せを用いて白熱灯を開拓した。この後，Jobard は↗

誰によりシステム技術に統合していくのか，その進展を外部から推測することは困難であった。[5)] またとくに開発競争で顕著になった，障害を乗り越える意志の強さと経済的報酬への強い期待感は，技術的成功に進む両輪であった。新技術の勝者による経済的報酬の獲得を社会が容認する風土は，技術開発を誘引するアメリカ社会の特徴であり，この点も個人的経済動機を持たない日本人留学生と使節随行員から，技術開発への関心と技術の適切な評価を弱めさせたといえる。

このようななかで唯一，社会において広く公開された電気技術として，日本人が強い印象を持ったのが電信であった。電信装置とその実演は，外国使節団が幕府に献上した経験はあるにしても，電信網が普及しつつあった欧米を訪れ，初めてその実用性の認識にいたったとみられる。当時のアメリカの電信敷設距離（鉄道線路用電信線を除く）をみてみると，1854年の３万マイルから1867年には８万５千マイルへ拡張されていった。[6)]

この間に同国を訪れた日本人に，電信技術を社会が積極的に利用している現実を目にする機会が与えられたが，[7)] その最初の電気利用＝電信利用に接した一人に福沢諭吉がいる。1860年の遣米使節団一行はサンフランシスコ滞在中，アメリカ側の接待役と政府間の連絡に電信が使われ，その情報が人々を動かす様を見たとされているが，これは日本人が電信技術の社会的利用を目の当たりにした初めての体験であった。[8)] また1867年の２回目となった渡米では，２年前に終結した南

↘ 真空化したガラス球に初めて炭素線を組み込んでいる（1838）。1845年にアメリカ人の Starr は黒鉛線を初めて試用し，またストッパー付きガラス球を容器に利用している。この後イリジュームやその合金を発光体に用いた研究開発が進み（Staite, 1848，Petrie, 1849），フィラメントに用いる発光体，容器形状，容器内の空気の処理方法が多様化し，白熱球の試作がおこなわれた。しかし真空化の問題にくわえて，発熱体に使用したイリジュームやプラチナは生産コストに難点があり，1859年にアメリカ人の M. Farmer による空気に露出した状態でプラチナ線から白熱光を得る試作を最後に主要な研究から後退し，代わって白熱電球の発光体開発の主流は長い歴史を持つ炭素線に再度向かうことになった。糸を炭化させたフィラメント線は1860年にイギリス人の J. Swan によって取り上げられ，I. Adams（1865），A.Lodyguine（1872），H.Fontaine（1878）は真空化した強化ガラス球を組み合わせている。またこれとは別に黒鉛線を発光体とした開発も S.A.Kosloff（1875），S.W.Konn（1875），Bouliguine（1876）がおこなっている。発光体容器の形状を別にすれば，電球から発電機に至る複数の技術を一つの機能に統合して完成する技術をシステムと名づければ，電灯照明はシステム技術の代表であり，多方面から技術の投入を必要とする近代技術体系の先駆けであった。そしてこの各部分の技術開発とその成果は，開発過程において相互に影響しあう相乗効果を作り出しながら，進展していった。総じていえば1820年から1860年代は，発電機や電球さらに電動機を使った船や汽車，製版機などの試作化が次々と試みられた時代であり，その後に出現してくる実用製品の雛形を見ることができるが，幕末の留学生や使節派遣員に印象を与えるような実用化の成果は少ない。電気が物を動かす，物を造るといった生産に直結した機能を社会に提示できる前の段階にあり，電気についての関心を強めるには至らなかった。

5）　シーメンスは発電機に関して，研究や実験結果を公開しているが（Arthur A Bright, Jr.「前掲書」p.28），これは例外に近く，開発した技術はアメリカ，ヨーロッパにおいては，まず特許化した後で社会に公開されことが一般的であった。

6）「*The Statistical History of the United States–From Colonial Times to the Present*」1976, prepared by the United States Bureau of the Census p.779

7）　最初の遣米使節団であった万延元年の随行員が記録として残している。その一人である木村鉄太は「伝信器」がフィラデルフィアからニューヨークへの連絡に際して利用されたこと，直ちに返事がかえってきたことをその航米記に記している。電信機，電池さらに電信線や送受信の有様など図入りの記録を残しているが，その的確な内容はアメリカ側が使節団一行の電報局見学に際しておこなった説明に依拠したと思われる（高野和人編訳『万延元年遣米使節航米期』pp.156–157。

8）　日本人として電信＝電報利用に実際に接した機会は，脚注７）にある1860年の万延元年の咸臨丸による遣↗

北戦争において，鉄道とならんで電信が軍事上大きな役割を演じたことを，福沢が聞き及んだと推測できる。

『西洋事情』のなかで傳信機と記述される電信機は，エレキトル（電気）による通信技術であり瞬時にして千万里に達すると効用が紹介されており，すでに欧米では大西洋横断の電信が利用される段階にあったことにまで言及している[9]。しかしほぼ同時期，クワッケンボスの物理書を試訳した『窮理全書訳稿』のなかでは，電気についてわずかに越気論，磁気論の項目内にエレキトリシチの訳語が記載されているに過ぎず，『西洋事情』で触れずに終わったエレキトリシチの解説は残されたままである[10]。

結局，福沢の電気に関する紹介は『西洋事情』に記述したように通信手段としての機能を中心になされたのであるが，目に見えず触れることもできない電気の本質とその潜在的利用方法への言及が少ないことはやむえないことであった。エレキテルを電灯という照明の実用性につなげて考えることは欧米を訪れた当時は困難であった[11]。

↘米使節団であったと思われる。アメリカ西海岸サンフランシスコの港に滞留中に電信を受け取って人が移動する事実を使節団員は目の当たりにしている（山口一夫『福沢諭吉の亜米利加体験』福沢諭吉協会，p.143）。さらに留学生の１人は国外においてではあるが電信利用をおこなっている。たとえば吉田清成は「尤途中よりテレグラフを以人之急を告る段申参り候」とあるように，香港寄航後の連絡は寄港地宛ての電信を利用することにしている（吉田清成書簡関係文書『慶応二年十一月三十日付』京都大学史料叢書10）。

9）ヨーロッパとアメリカを結ぶ大西洋海底ケーブルはイギリス政府の全面的援助を得た大西洋電信会社（1856年設立）によって1858年に敷設された。ケーブル技術の欠陥によって不通が頻発したが，技術改良を加えた数度の敷設を経て，1866年に本格的敷設に成功している。これらの事実は日本人が知識として得ており，その一人である福沢諭吉がアメリカ再訪に際して，電信利用について関心を持ったのは不思議ではない。

10）福沢自身の電気についての知識欲は強く，「福翁自伝」〔緒方の塾風<黒田公の原書を写取る>〕岩波書店『福澤諭吉全集　第７巻』pp.73-75に，安政三年か四年に，緒方洪庵が黒田侯から借りてきた物理の原書のなかから，エレキテルに関する記述を選び，これを僅か２，３日間で書生が助け合って複写したくだりが述べられている。原書全体は英書からオランダ語訳されたものであったが，電気に関する内容はファラデーの学説に基づき，福沢はその部分を直ちに読み下し，「ただ驚くばかりで一目で魂を奪われ」て，写本を決めたと述懐している。ただしこの写本をその後どのようにしたかは分からない。またなぜ最新の物理学書から電気だけ取り出したのか，その理由も分からない。福沢の電気（エレキトル）についての紹介に関しては本文記載にとどめたが，彼の電気に関する知識，関心と理解力は「今日でも電気の話を聞いてもおおよそ理解できる」と言わしめるものがあった。

11）これは1860年代の最も近代的な照明といえば，瓦斯灯であった事実と関係している。福沢が最初の遣米使節団により訪れたアメリカは瓦斯灯興隆の時代にあり，近代を代表する技術として，強い印象を与えたと思われる。『窮理全書訳稿』はこの瓦斯について，電気と同じように項目はあっても説明はないが，『西洋事情』のなかでは会社形態の事業として普及しているという記述がある。福沢が訪れた1860年のアメリカ国内における瓦斯灯供給は，すでに40年近くの普及の歴史をもち（*Fourteenth Annual Report of Commissioner of Labor, 1899*『*Water, Gas, and Electric-Light Plants*』Washington: Government Printing Office, 1900），少し大きな町へ行けば屋内灯 , 街路灯に使用されている瓦斯灯をみることができた。当時，アメリカ有数の大都市に成長していたサンフランシスコにおいて，使節団の一行はこの瓦斯照明に接したのであり，こうした体験は福沢にとっても印象深かったに違いなく，帰国直後に書き送った手紙のなかに，サンフランシスコとそこの人々が瓦斯灯下を夜間自由に行き来する様について述べたくだりがある。気候はおおよそ長崎に等しく，人口は約六萬と説明し，町並みについては「街路の両側には瓦斯灯をつけ，往来の人提灯を用候事無之，家内には間毎に瓦斯灯を曳き火を点し，油蝋燭一切用い不申候」と述べている（福沢が萬延元年のアメリカ訪問から帰国した直後に，藩の重職者にあてたとされる報告書「萬延元年アメリカハワイ見聞報告書 」より）。1860年の福沢一行は間違いなく瓦斯灯の灯るサンフランシスコを見たのである。また同書において「瓦斯を焚き候本とは市中に壱箇所有之，大造の構にて日々石炭を焼居申候」と説明があるように，瓦斯灯が各家庭↗

いずれにしても電信の利用が民間人の商業的利用に限らず，軍事的利用に及んだ事実は，電信の重要性を士族層を中心に構成された留学生，幕府使節随行者に強く印象づけたこととなるが，この体験は国内に電気技術を導入し，また教育するときに，やや偏りを与えたと思われる。電信の効用に関心が集まり，電気利用の教育と人材育成はこの枠のなかに囲い込まれてしまった。これにたいして欧米が取り組む電気技術の導入は，政府の関心事から遠く，教育は特殊な過程を取って開始された。

3．日本への電灯技術紹介と人材形成

当時，欧米において電気利用を目的とした最大の開発対象は照明であり，発光体（電球）と電流発生（蓄電池か発電機）の商業的利用をめざす試行錯誤が繰り返されていた。照明への応用を通して，電気利用の可能性を科学的また体系的に日本に紹介したのは，1873年に日本政府の招聘をうけて工部大学校の教壇にたったイギリス人のエアトン（W. E. Ayrton）であった。エアトンはグラスゴー大学において電気の研究や実験に携わり，ヨーロッパとアメリカの開発実情について強い関心を寄せながら来日したのである。

蓄電池に代わり，発電機から必要な電気を取り出す方法に技術開発が前進した時代であったが，エアトン来日の数年前に電流子を改良した，画期的な発電能力を持つグラム発電機が出現している。これ以後も，さらに効率的でより安定した発電機開発は続くが，グラムの成功によって，システムを構成する技術的関門のひとつを乗り越えたことになり，電灯照明はようやく商業化，実用化に向けて大きく前進することになった。技術史上，とくに電気技術の歴史のうえで，グラム発電機は最も大きな成功であったと評価されるが，ただちに電灯照明の商業化が可能となったわけではなかった。グラム発電機の成功は，一定時間の持続的点灯を実現するために必要な電流発生の基本的技術を提供したが，実用的な照明システムとして完成するためには，４，５百時間の持続点灯可能な電球の開発と，それを大量に生産する問題を残していた。エアトンが来日した頃，欧米の電気実用化に向けた主要な技術開発はこのような段階にあった。

来日によって研究開発の中心地から遠く離れた事情にくわえ，電信および物理学教授という立場で招聘されたため，エアトンは講義外の時間を割いて，電気の理論研究と実験を続けたといわれる[12]。その成果の一部は，講義のなかで学生に与えられ，さらに英国の専門誌へ数多くの研究論文として投稿されている。後に英国電気学会会長の要職に座ることになったエアトンの研究業績には，工部大学校在職中の研究から生まれたものが多数含まれていたのである。

このような彼の研究と教育姿勢にあった情熱と献身は，数々の電気にかかわる法則や理論をつくりあげた英国の高名な電気学者であったファラデー（M. Faraday, 1867年没）に類似したものが

↘に定常的に配給される照明方法であることの的確な洞察を含め，福沢は近代社会における中央供給式（central station system）による照明の重要性を理解したのであり，実用化された電灯に立ち会っていれば，電気についてより多面的に紹介していたと思われる。

12）旧工部大学校史料編纂会『前掲書』，p.52

あることに気がつく。ファラデーは名誉と経済的報酬を断りつづけ，市井の研究者として生涯を過ごし，晩年は電気の啓蒙教育に没頭したといわれるが，この研究姿勢と啓蒙活動は当時の英国社会に強い感銘を与えたのであり，若い電気学学徒がファラデーの生き方から感化をうけたとしても不思議ではなかったといえる。両者の直接の関係はともあれ，エアトンの来日にファラデーの生き方に似た想いをみることができる。彼が1873年にダイエルとともに招聘を受けて来日した動機のひとつに，東洋の一小国の近代化を助力するための学問を授けるという理想主義を挙げることができる。そしてその実践活動が当時の欧米の最新の科学技術であった電気に関する教育にあった。

エアトンは工部省工部校に設置された電信科の責任者であり，講義では電信と物理を担当している。彼の関心がヨーロッパにいたときと同じ電気と電灯に比重があったことはすでに述べたところであるが，しかし日本人学生のための電信学教授をおろそかにすることはなかった。明治政府が教育を委嘱した電信技術については，意欲的に研究と教育を遂行している。国内の状況はエアトン着任に遡る３年前に電信事業（東京・横浜間）が開始されていたが，使用された機械はブレゲ指字電信機という送信速度の遅いものであり，欧米は既にモールス式に転換していたことから，新技術導入への対応が必要であった。[13)]

また先進各国間の利用状況を見ると，電信技術の実用化はそれまでの陸上送受信から，大陸間通信のための送受信という，新しい実用段階を迎えつつあった。このため海底電線の敷設問題を解決するうえでケーブル強度の理論的解明や伝導理論の研究，あるいはコンデンサー特性の研究や多重通信のための共振予防の研究が必要とされていたが，これらのうちには電気の研究領域にかかわる学問分野に属するものも少なくなかった。エアトンが電気についての最新知識に関心を持ちつづけたことによって，工部校は電信と電気に関する知識の供給源となりえたのである。彼は専門課程（第３，４学年）に最初の工部生が進級した1876年，予科過程（第１，２学年）講義に磁気学と電気学を置き，静電気から伝導理論，そして発電機の原理とその構造について講義をおこなった。

1878年３月の工部大学校（前年工部校より改称）の校庭で催された電信業務の全国化を祝っておこなわれた工部省祝賀会のなかで，エアトンはアーク灯を点灯して，国内では最初となった電気照明のデモンストレーションをおこなった。多数の民間人が出席する機会を利用して，エアトンは彼に与えられた研究教育環境へ謝意を表わすと同時に，電気に対する啓蒙活動の一環という意味合いを込めて，世間の耳目を集めるための日本人に向けたデモンストレーションをおこなったのである。[14)] 電気による照明はその明るさによって強い驚きを人々に与えるに十分であった。

13）国内電信事業が開始された1870年の欧米の電信はモールス式を改良した方式が主力となっていたのにかかわらず，１分間の送信スピードが５，６文字程度のブレゲ指字電信機が各電信局に配置された。性能的に劣るブレゲ式が利用されたのは，文字に送信針を合わせれば送信ができるという（受信は受信針が文字を指す）簡便性にあった。［A］～［Z］欄に日本文字の［イ］～［ン］を割り振って送受信できるように工夫した電信機であるが，送受の電信線は各アルファベットに２本必要で，合計52本の電信線を敷設しなければならなかった。利用当初からこの機械が旧式であることを納得して国内に導入したが，日本人を送信操作に習熟させ，またアルファベットからカタカナ文字用の符号を作るために用いた。

とくにこのとき使用された照明システムは，電灯照明実用化に最も近かったアーク灯照明であるが，[15] その光力は千燭光（約３千～５千ワット換算）を超え，僅か３分間の点灯にかかわらず，出席した日本人に強い印象を与え，電気にたいする関心を高める成果は十分であった。

工部省は工部大学校のカリキュラム作成と各講義内容をダイエル及び契約諸外国人教授に一任したため，エアトンは電信教育の科目のひとつとして，電気学をカリキュラムに組み込むことが可能であった。講義時間外の電気実験は，都検（学校長）ダイエル（H. Dyer）の容認の下に，学生を参加させておこなわれたという。それは正規の講義に認められることはなかったが，実技，実務を重視したダイエルらの工学教育の理念に沿うものであった。

このように工部省の意図を超えて，電気学の研究，教育体制の道が切り開かれていったのであるが，エアトンの在職中（1878年に離日），正式な学科への昇格は見送られた。後の1884年に電信学科は改組され，電気工学を中心に電気の諸法則から電灯，発電機，電車等を含む，広範囲な講義をおこなう電気学科として再出発していった。時代の要請という背景はあるにしても，発展的改組は電信科時代のエアトンの活動を抜きにしては考えられない。改組の中心となった人物は志田林三郎，藤岡市助を始めとするエアトン門下生であった。

彼の薫陶を受け最初の電信科卒業生となり，1879年，海外留学に選抜され，欧米に学んだ志田林三郎が，数カ年後，日本に持ち帰った研究成果は最新の電気学であった。またダイエルやエアトンから学んだ藤岡は，実学を重んじた彼らの学風を国内最初の電灯会社設立への参画によって実践している。彼は後に工部大学校の教職の地位を捨て，電灯会社の運営に専念し，さらに電球開発に転身していった。エアトンの個人的努力は，電気知識と開発技術者が不足していた明治初期にありながら，欧米から大きく遅れることなく，電気あるいは電灯を導入し普及させるうえで欠かせない人的資源の形成に大きく貢献したのであり，日本に播いた種は彼のイギリス帰国後に開花していくことになった。

４．二国間にみる電灯実用化の諸基盤

エアトンのアーク灯のデモンストレーションから，国内に電灯照明が事業化されるまでは，さらにいくつかの条件の整備が必要であった。彼個人の努力とその影響力をとりあげてみても，その役割は電信技術の確立と教育に求められた事実を考慮すれば，在職中に電灯事業化へ指導力を

14）エアトンが滞在した６年間に工部省と文部省による活動をのぞけば，電気に関する一般知識の普及運動に見るべき内容はなかった。出版物として1873年以降，明石朝幹「越歴新編」，高瀬四郎「電信噺」，深間内基「百科全書電気編」，明石博高「防雷緘略説」などに電気関係の記述がみられたといっても，講談風に述べられた漫遊見聞録の類を含め，そのほとんどは半ば戯作に近い通俗窮理書の域から出るものではなかった。

15）アメリカの Charles F. Brush が，アーク灯点灯の商業化に成功するのは，この年の11月であった。このときは個人商店の照明用にアーク電球，発電機，ケーブルを生産，販売したが，性能向上と運転費用削減の開発を続けた結果，街路用瓦斯灯と光量，費用において競争できる技術を完成した。彼は1879年に the California Electric light company of San Francisco 社を設立，電灯照明の供給を開始している。Harold C. Passer（「*The Electrical Manufacturers, 1875-1900 A Study in Competition, Entruprenurship, Technical Change, and Economic Growth*」Arno Press，1972，p.19）によれば，この企業は歴史上最初の電灯供給会社であった。

行使することは困難であったろう。また彼の研究や実験においては，日本人の啓蒙と彼自身の科学的関心を満たすことが優先されたのであり，事業化がエアトンのなかで直接的な目的になることはなかったと考えられる。

しかし1870年代という時期，電灯実用化の技術開発は，エアトンの予想を超えて急速に進展していった。アメリカとヨーロッパでは，発明家から大学の研究者を含む多数の人が開発に従事し，数多くの特許が国境を越え，互いの研究を刺激し合っていた[16]。ここには成功の機会が開かれ，もう少しの時間を容認すれば，誰かが実用化の栄誉を手にすることになる，そのような高揚した世界があった[17]。

むろん開国間もない日本にこのような開発能力は存在しなかった。また仮にエアトンが電気照明の開発を日本政府から許可され，同時に彼自身も実用化に意欲的であったと仮定できたとしても，その実現はいくつかの経済的環境から不可能であった。電灯実用化に先鞭をつけたアメリカ，それにつづいたドイツ，イギリスをみるかぎり，啓蒙，実験の段階から電灯照明へと実用化段階に移行するためには，機械産業と近代照明市場という２つの要素の存在が不可欠であった。電灯技術の可能性をいち早く見抜いた投資家の存在と投資資金の流れについては別の考察機会にゆずり，ここでは２つについて検討しておくことにする[18]。

第１は，機械製造技術＝機械産業の存在である。点灯実用化の始まりが予測された段階には，すでに照明システム（発電機，原動機さらに電線と電球）の大量生産を可能とする機械製造技術＝機械産業が存在していた。アメリカではニューイングランドから山脈を越えてオハイオ，イリノイなどの西部諸州へ工作機械，精密機械産業が拡散していく過程で，万能フライス盤を生み出し，また金属加工技術を急速に進展させ，その結果，工作機械産業と発電機，電動機生産の間に決定的な関係が形成されていった[19]。

照明普及のため大量生産化の必要があった電球製造は，フィラメント加工用特殊装置と白熱灯用のガラス球体を真空にする真空ポンプを必要としたのであり[20]，これらは当時急速に精密度と耐

16）　アーク灯開発が19世紀後半に実用化をめざすに際して，①長時間かつ大量の光を作り出せる電極材の発見，②電極間を一定距離に保つ装置の作成，③電流を安く大量に発生できる方法の発見等の諸課題を解決する必要があった（Arthur A. Bright, Jr『前掲書』p22）。

17）　Malcolm MacLaren「*The Rise of the Electrical Industry During the Nineteenth Century*」＜Ⅲ―*Edison's Contribution to the Lamp Industry*＞Princeton University Press, 1943および Arthur A. Bright, Jr.「前掲書」＜Ⅲ―３　*The Work of Thomas A. Edison*＞を参照。実用化の基準は１つにそれ自身で完成した技術であると同時に，その技術的成果は他の照明方法と費用的に競争可能なものという，２つの側面におかれていた。

18）　電灯技術を実用化した19世紀後半のアメリカ特有の社会基盤として，この他に投資家と投資資金の存在を挙げることができる。アメリカの技術開発者がヨーロッパのイギリス，フランス，ドイツなどでアメリカと同時期に特許を取得した動機は，①特許に基づく製品の市場開拓のため，②特許によって技術力を誇示しヨーロッパの資金を誘引するためであった（Malcolm MacLaren「前掲書」p.79）。各国の資金はアメリカの投資銀行を通して当該産業に流れていったが，それは J. P. Morgan を媒介にしたエジソンへの資金流入に典型的に見ることができる。またエジソン自身が最初の発電所を建設して供給開始地点に選んだ場所は，金融街の Pearl Street であったが，これは投資家の関心をひきつける狙いがあったからといわれる（Thomas P. Hughes「*Networks of Power ― Electrification in Western Society,1880-1930 ―*」The Jones Hopkins University Press, 1983, pp.41-42 ）。

19）　L. T. C. ロルト「工作機械の歴史」（磯田浩訳）平凡社，1989，p.240

久性を高めた機械産業により供給された。この事実は原動機となる蒸気機関の製造についても同じであった。

こうした金属加工，金属切削技術工業の成長とその技術力が存在しなければ，電気機械製造産業の出現は困難を極め，電灯技術が実験室と研究室から社会に出て行くのは大きく遅れたと思われる。機械産業は誕生する電気機械産業の生産開始を促し，電灯事業を形成する役割を担ったことになる。アメリカ国内において電灯事業が始まったとき，電信機および電話器製造企業は76社を数え，さらに40社を超える製造企業が電気に関係する生産活動をおこなっていた。[21] こうした関連技術を蓄積した産業が周辺に存在したことによって，電気機械の生産は支えられたのであった。

電灯照明用機械の生産を支えた周辺機械産業の存在は，電灯照明技術の開発者が特許や技術に基づく電気機械企業を設立し，経営をおこなうことを可能にした。諸機械を設置した工場を建設して電球，発電機の生産を開始したかれらの活動は，市場拡大を求める販売活動を促し，電灯照明を提供する電灯企業を設立し，全体として電灯産業形成に密接に結びついていった。このようにアメリカ，ドイツ，イギリス等の先進工業国において，電気照明技術の開発者は電灯産業形成の企業者活動に参画したが，それは社会的基盤として生産活動を円滑に進めた周辺機械産業が存在したためであった。

第２はある程度まで成熟段階に達していた先行する近代照明市場の存在である。孤立式照明よりはるかに安全で，清潔な光源を安定的に提供した近代照明市場は瓦斯灯産業であった。瓦斯灯はアメリカにおける半世紀近くの産業活動を通して，中央供給式照明がビジネスとして成り立つ事実を歴史の上で初めて立証し，多数の効率的な経営を生み出していた。産業としての成功は次世代の技術登場を促し，実用化に要する幾つかの課題を与えることによって，電灯産業の形成を先導する役割を演じたのである。繁栄する照明産業の存在は，先進国に電灯という照明産業を短期間に発達させた社会的基盤のひとつであった。[22]

瓦斯灯産業は瓦斯供給に必要な瓦斯供給網を形成するために，多額の固定資金を投入しなければならなかった。瓦斯灯企業が抱えた設備投資の圧力は，当然の結果として，経営に瓦斯需要の拡大と事業効率化の努力を要求するものであった。瓦斯灯の利便性が時間とともに社会に理解されていくなかで，一般家庭から工場，商店まで供給領域を広げる市場形成に成功したが，1850年代に始まった灯油の大量生産による挑戦に対しては，ウォーター瓦斯による低コストの瓦斯精製，

20）白熱電球の実用化段階において最も試作に利用された物質が炭素ワイヤー，炭素フィラメントであったが，炭素は白熱化すると空気中の微量の瓦斯と結合して気化する性質があり，このため炭素ワイヤー，フィラメントを設置するガラス球の真空化を必要とした。この技術的難題は白熱電灯システムの開発を遅らせた要因のひとつといわれた。空気排出は1865年にドイツの H. Sprengel が開発した，高性能真空ポンプによって解決の道が拓け，ついでガラス球の真空化は，スプレンゲルの装置を利用してイギリスの W. Crookes によって解決している。ここに用いられる真空ポンプ機は機械工業によって製造と性能改良が進められた。

21）Arthur A Bright, Jr.「前掲書」p.33

22）ここでは技術的影響については，たとえば瓦斯灯企業が用いた料金制度であるメーター機器を設置した従量制は，電灯技術開発者の大きな関心のひとつであり，さらに各戸供給の電圧低下の回避方法は瓦斯供給方式を模倣したシステム技術であったという指摘にとどめておく（A.E.kennelly「*Electricity in the Household*」Cryus F. Brackett, Herbert Lanes 他編『*Electricity in daily life*』New York: Charles Scribner's Sons, 1890. 著者の A. E. kennelly は T. A. Edison Laboratory の技師であった）。

光源器具の改良，さらに人口の集中する市や町では瓦斯パイプ敷設料金の無料化，瓦斯料金の引き下げによって需要を維持して，19世紀中葉から末葉にかけて産業として成長を継続したのである。

また企業規模の大型化による効率経営を進め，灯油の挑戦を最小限度に押え込み，電灯の競争に対しては，燃焼瓦斯量の増加，熱カロリーを改善した瓦斯への代替を進め，さらには瓦斯業を照明市場につなぎ止めると期待された革新的なマントル技術を導入している。[23] くわえて瓦斯利用を暖房や料理用途に拡大するなど経営多角化に意を払ったが，瓦斯灯産業の20世紀に向かう歴史は，技術開発の成功が産業間の競争に必ずしも勝利するとは限らなかったことを示している。

瓦斯灯と電灯は終局において敗者と勝者の立場になるにしても，近代照明市場におけるその戦いは，前者が後者に多くの競争上参考となる示唆を与え，後者が競争にこれを取り入れていった過程であった。瓦斯灯産業は，電灯照明開発が商業化をめざしたとき，参考にしなければならない数々の経営問題の経験者であり，解決の参考となる存在であった。[24] 中央供給式事業を実践する先発産業の存在とまた競争により，電灯産業は短期間に社会に受容され発展を遂げたのである。照明における成熟産業の存在は19世紀後半の電灯産業の発展を作り出した社会的基盤であった。

さらに瓦斯灯産業が電灯産業形成にかかわった存在意義は，電灯事業への積極的な投資者であったこと，また電灯会社を経営したことにも認めることができる。瓦斯灯と白熱灯産業間に料金と品質競争が繰り広げられる前段階にあって，瓦斯灯事業者が電灯の利点をいち早く理解し，脅威を感じたことは不思議ではなかった。対抗策として価格，品質競争の強化をはかりながら，電灯事業へ進出する瓦斯灯企業が現われ始めた。これは自社の保有する事務組織，顧客，配管施設，発電用の原動機に用いる石炭燃焼設備など，電灯事業を低コストで運営できる有利な経営資源を瓦斯灯企業が有していたからに他ならない。また転用あるいは供用可能な経営資源の活用に加えて，電気機械生産者のなかに瓦斯灯会社に電灯設備を積極的に売り込む者が現われ，[25] 1885年頃から電灯事業へ資本を投下する瓦斯灯企業が増加していった。

当時，電灯を提供するとより大きい光量の照明を求める需要者が多く，これが瓦斯灯の長所に結びつき，瓦斯灯需要の増大に繋がったといわれる。また瓦斯灯会社の顧客が電灯開始を要求する事も稀ではなかった。この様に瓦斯灯需要と電灯需要の共存を追い風にして兼営化は進み，

23）Harold C Passer「前掲書」p.197。この瓦斯マントル技術の導入によって，瓦斯灯は白熱照明の提供を可能とすることになり，従来の青い炎よりも数段快適な光源として，品質また価格において白熱灯電球に十分な対抗力をもつにいたった。アメリカ国内の電灯化の進行を一時遅らせ，また白熱灯の料金，品質競争に刺激を与えたとされている。

24）19世紀後半，アメリカにおける電灯産業は最初の企業設立ブームに続いて，瓦斯灯企業の多くが参入する段階を迎えている。瓦斯灯企業が危機意識を背景にした瓦斯と電灯の多角的経営による安定化戦略が，瓦斯灯事業において培った豊富な事業経営経験を電灯事業に応用できたためであった。瓦斯と電気の技術的差異を越えた照明事業としての共通性が両者間に存在し，それを利用したことがアメリカ電灯産業の発展速度を強めた。

25）Harold C Passer「前掲書」，p.199．電気機械企業のトムソン－ヒューストン社のように，瓦斯灯企業を照明設備の販売市場として重視し，かれらのために発電機や送電設備を取り扱いやすく維持もしやすいように，技術改良を加える企業が現われ，こうした結果，瓦斯事業と電灯事業の兼営は経営的にも技術的にも困難ではなくなっていった。

1887年には全米で40社の瓦斯灯会社が電灯事業に進出しており，その後は，電灯会社との合併を含むと1889年に266社，さらに1899年に全瓦斯灯会社の４割，これは同時に全米の電灯会社数のほぼ４割となる362社に及んだ[26]。電灯産業拡大に果たした瓦斯資本の役割は，ここに示した数字の他に，瓦斯灯経営から蓄積した経験と経営資源を電灯事業に投入することにより，電灯産業形成の初期段階において安定した事業環境を創り出したのである。

５．むすび

アメリカにおける電灯実用化の社会的基盤をわが国と比較すれば，経営資源と経験を提供した照明産業が存在しなかったのは自明の事実であり，国内電灯産業は資本，市場，会社組織，経営能力をすべて無から形成しなければならなかった。また第１の社会基盤であった機械産業の存在についてみれば，アメリカでは機械諸産業の技術から誕生した電気機械産業の資本と技術が，電灯産業の形成段階から資本集中段階まで深く関与した事実を確認できた。しかしわが国の電気機械産業の成立は，周辺機械産業の技術力形成を待つことなくおこなわれ，資本と技術は常に国外企業による強化を必要とした。この結果，電灯産業に技術と資本を提供するべき電気機械産業の発展は制約され，電灯産業の資本集中と経営合理化を促す主役は不在のままであった。

26）　Report of the Commissioner of Labor-1899「前掲書」参照。なお瓦斯事業と電灯事業の複合化は①瓦斯灯会社が電灯事業を新設したケース，②瓦斯灯会社と電灯会社の合併によるケースが多数であるが，前者については Charles M Coleman「*P. G.and E. of California The Centennial Story of Pacific Gas and Electric Company 1852-1952*」に詳しい。