

九州帝国大学における水銀整流器の研究について

秋 山 肇

九州大学総合研究博物館：〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1

要旨：水銀整流器は C. Hewitt によって1900年（明治33年）に発明され、1924年（大正13年）以降には日本国内でも製造が開始された。この背景を受け1926年（大正15年）、降矢芳郎氏の研究「小規模の蓄電池に適する「各種整流器の比較実験」の報告」が九州帝国大学工学彙報に投稿された。続く1935年（昭和10年）、後藤文雄氏による学位請求論文「水銀整流器の実験的研究」が九州帝国大学（以下、九大）に提出された。本稿では、両氏の論文についてその時代背景を踏まえ、研究に供された水銀整流器及び実験機器類に関する調査を試みたものである。

キーワード：水銀整流器、水銀弧光整流器、九州帝国大学、励弧極、電弧低下、蓄電池、直接電圧計法

1. はじめに

水銀整流器は1900年代の初頭から60年代に到るまでの時代において交流を直流に変換する為の電力制御を担う代表的な電気機器として普及した。九大はその創設年である1911年（明治44年）当時より工科大学として電力工学に関する研究組織と人材を有していたことから、当時の最先端デバイスであった水銀整流器と無縁であったとは考え難い。著者は「水銀整流器」と「九大」をキーワードとして両者の関係について歴史的な視点を持ちつつ解明することを動機とし、本研究を開始した。本稿は降矢・後藤両氏の論文における歴史資料的な側面について調査を行い、予備的な報告としてとりまとめたものである。

2. 水銀整流器の発明から普及まで

1882年（明治15年）、Jemin と Meneuvrier は水銀電弧の整流性を発見した。その後 Arons による水銀燈の研究を経て1900年（明治33年）Cooper Hewitt による水銀整流器の発明が成された（秦他 1936）。青木の水銀整流器発達年譜によれば基礎研究から実用化に到る期間は胎動時代（1650-1900）・揺籃時代（1904-1916）そして発展時代

（1919-1943）の3時代に区分される（青木 1946）。表1として水銀整流器の研究・開発・量産に関する年表を記載する。水銀整流器が日本で初めて実用に供されたのは「発展時代」にあたる1923年（大正12年）京都電燈会社

表1 水銀整流器の研究・開発・量産 年表

1. 胎動時代	
1650年（慶安3年）	Guericke: 真空ポンプの発明
1675年（延宝3年）	Picard: 真空放電の発見
1838年（天保9年）	Geissler: 真空放電管の作製
1882年（明治15年）	Jemi, Meneuvrier: 水銀電弧の整流性発見
1895年（明治28年）	W. C. Röntgen: X線の発見
1900年（明治33年）	C. Hewitt: 水銀整流器の発明
2. 揺籃時代	
1905年（明治38年）	G. E 社, Westinghouse 社にて水銀整流器の製作
1911年（明治44年）	Schäfer: 鉄製水銀整流器の製作
1913年（大正2年）	Pensylvania 州 [米] 鉄道列車に水銀整流器を使用
3. 発展時代	
1920年（大正9年）	日本国内 ラジオ放送開始
1923年（大正12年）	京都電燈会社, 嵯峨変電所に水銀整流器据付
1924年（大正13年）	芝浦, 日立, Siemens 社 鉄製水銀整流器の製作
1931年（昭和6年）	鉄道省 水銀整流器の採用
1936年（昭和11年）	芝浦 20kV/1MW 整流器の製作
1936年（昭和11年）	日本アルミ 電気化学用整流器の据付
1940年（昭和15年）	Hull: 補給型熱陰極の発明
1940年（昭和15年）	Dällenbach: 希有ガス入ポンプなし整流器の製作
1943年（昭和18年）	富士, 芝浦 3000V 電気鉄道用インバータの製作

青木 (1946) より抜粋

表2 「水銀整流」をキーワードとした学位論文の発表リスト

授与年（和暦）	学位取得者名〔大学名〕	タイトル
1935年（昭和10年）	後藤文雄〔九州帝国大学〕	水銀整流器の実験的研究
1936年（昭和11年）	秦 常造〔東京工業大学〕	水銀整流器ノ実験的研究
1945年（昭和20年）	青木敏男〔東京工業大学〕	水銀整流器槽内に於ける水銀蒸気の流動に就いて
1945年（昭和20年）	久保俊彦〔東京帝国大学〕	水銀整流器ノ逆弧ト其ノ防止ニ関スル研究
1952年（昭和27年）	草野光男〔東京大学〕	水銀整流器の安定度向上に関する研究
1955年（昭和30年）	黒田治夫〔東京大学〕	熱陰極水銀蒸気整流管の逆弧現象の研究
1959年（昭和34年）	池田吉堯〔東京大学〕	水銀整流器の内部現象に関する基礎的研究
1959年（昭和34年）	高津清一〔日本大学〕	熱陰極水銀整流管およびその保全に関する研究
1962年（昭和37年）	松尾重友〔東北大学〕	真空ホットプレスによる B-BN-B4C 三成分系焼結体の研究並びにこれを基とした水銀整流器用イグナイタ製造への工業的応用
1962年（昭和37年）	高橋重男〔東京工業大学〕	高電圧水銀整流器の器内現象に関する研究
1962年（昭和37年）	阿部久康〔京都大学〕	水銀整流器の等価試験法とその応用に関する研究

と嵯峨変電所への導入事例であるとされている。1924年（大正13年）から国内メーカーによる内製が始動した。その後製造と普及は急速な広がりを見せ、1935年（昭和10年）に於ける国内電気鉄道用水銀整流器（外国製を含む）の設置累計電力量は100MW を凌駕した。

3. 水銀整流器に関する学術研究の状況

研究機関における水銀整流器の研究を考察する上で指標となる学位を手掛かりとして「水銀整流器」又は「水銀整流管」の文言を題目に冠した研究に対する授与状況を調査した。調査に際して学術研究データベース・リポジトリ (<http://dbr.nii.ac.jp>) を使用し、調査対象期間は学位令（勅令第13号）が公布された1887年（明治20年）以降とした。その結果、1935年（昭和10年）～1962年（昭和37年）の28年間に11件の授与件数が存在することを確認した。表2にそのリストを記載する。後藤文雄氏に続く1936年（昭和11年）には秦常造氏が東京工業大学で「水銀整流器ノ実験的研究」により工学博士号を授与されている。これらは国内に於ける水銀整流器研究の最初期の成果であるが、表1の年表と照合すると「発展時代」において国内での製作開始から10余年が経過した時期にあたるのがわかる。即ち水銀整流器の実用化を図る上でより安定に動作し、より高い規格（取扱い電圧・電流範囲の拡大）を実現する為の諸課題を解決すると共に水銀整流器の内部で発生する水銀の流動と放電に関する現象を物理学の視点から解析する研究が並行して進められたようである。

4. 九大における水銀整流器の研究

学内における最初期の研究としては、水銀弧光整流器を含む各種整流器について交流を直流に変換する際のエネルギー効率（交直変換効率）を比較した実験が1926年（大正15年）に報告されている（降矢 1926）。この研究の背景として、当時一般家庭に普及しつつあった蓄電池を充電する為に必要な直流電気を得るには電力会社から供給される交流を直流に変換する機器の心臓部である整流器の特性改善が求められていた事情による。実験に用いられた水銀弧光整流器（Mercury-arc rectifier）の製造元は記載されていないが、最高能率（70.4%）における取扱電圧 / 電流値は交流側で100V/6.35A、直流側で72.8V/5.7Aと比較的小容量であったことがわかる。比較対象となった各種整流器はタンガー整流器（Tungar rectifier、米国 GE 社製）、振動式整流器（Vibrating rectifier）そして電動発電機（Motor-generator）の3種類である。表3に比較結果の一覧を引用する。試験項目は全部で7項目実施され、

表3 水銀弧光整流器と各種整流器の性能比較実験結果

整流器種類	水銀弧光整流器	タンガー整流器	振動式整流器	電動発電機
力率（最高）パーセント	95.5	84.3	72.6	64.1
能率（最高）パーセント	70.4	15.2	8.25	42.2
実験したる最大出力直流ワット	661.3	23.0	14.0	247.5
実験したる最大入力交流ワット	450	170	205	585
器械原価（圓）	1152	80	130	368
出力ワット當り価格（圓）	1.74	3.45	9.28	1.48
入力ワット當り価格（圓）	1.21	0.47	0.63	0.40

降矢（1926）中の p.21 第5表より引用

内5項目について水銀弧光整流器から最も良好な結果が得られた。一方で水銀弧光整流器に指摘された課題として硝子製であることから取扱中に破損の懸念があることと、弧光（アーク）を発生させる為に専用の起動装置が必要になることから利便性が損なわれる恐れがあること等である。

後藤氏が硝子製水銀整流器を用いて行った一連の研究報告は1933年（昭和8年）以降確認することができる。博士論文に先立つ公表論文として11件が発表されている。その内訳は電気学会での発表・投稿が6件、九州帝国大学工学彙報への投稿が2件、他専門雑誌への投稿が3件となっている。参考文献に関しては47件が記載されており、その内訳は洋書が20件、和書（書籍）が4件、和書（紀要等）が5件及び和書（専門雑誌）が18件である。1935年（昭和10年）当時、水銀整流器に関する学術的情報は主として海外に頼っており国内で専門的見地から議論できる学会は電気学会であった状況が伺える。

論文自体は三つの章から構成されている。第一章：水銀整流器の電弧低下、第二章：水銀整流器の整流理論、第三章：水銀整流器の連結運転、である（後藤 1935）。研究全体を通した課題意識の一つとして「水銀整流器の動作安定化」が挙げられる。負荷電流の急激な変化に対して意図せぬ消弧の防止を目的として励弧極を設ける構造が採用されていたが、本研究によれば直流負荷と並列に補助回路を設けて陽極自体に励弧作用を付与することにより励弧極を省略しても安定動作の確保が可能となる（後藤 1933陽極；1933水銀）。又無線用高圧直流電源用途として単相整流器の三基直列運転を検証した結果、高電圧小電流領域においては電弧降下の影響を無視すること

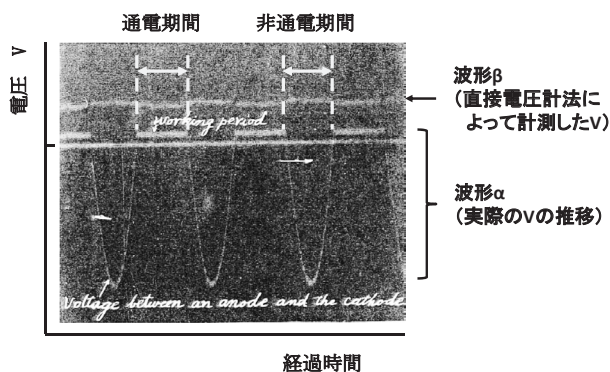


図1 アノード/カソード間の電圧推移の比較
後藤（1935）の p.5, 第1図より引用一部改変

ができ（後藤 1934研究）、より広範に電弧低下と励弧電流との関係を調査することで水銀整流器設計に於ける定格の考え方や平行運転への応用を提示している（後藤 1934硝子；後藤他 1935）。

上記の研究を行うに際して後藤氏が開発した直接電圧計法（Direct voltmeter method）は電力変換回路にて運転中の水銀整流器についてその電弧低下を観察する有効な手段である。以下論文中の第1図に注釈を加える形で解説する。図1に水銀整流器のアノード電極とカソード電極間における電圧Vの時間的な変動例を示す。縦軸は電圧Vを示しており、目盛位置はカソード電位（接地電位に相当）と推測される。波形αは実際のVの推移を示しており、通電期間にはほぼ一定値を保持することがわかる。一方、非通電期間に於いてVは大きく変動しアノード電位がカソード電位に比較して負電位となる期間が存在することがわかる。このように変動する回路部位に当時の可動線輪型直流電圧計を挿入すると同電圧計の計測電位と反対側の電位が加わることによって電圧計が破損する恐れがある。直接電圧計法は整流真空管を用いることでこの負電圧が電圧計に負担を与えないよう改良を加えたものである。図2に直接電圧計法を用いた水銀整流器の電弧低下測定回路を示す。同図中の破線で囲まれた部分が電圧計測回路ブロックに相当する。T₁とT₂は各々整流真空管であり、実証実験にはマツダ真空管 KX-280-B を使用した。図中のⓍは可動線輪型直流電圧計であり、先の整流真空管とは直列に接続されている。この回路構成により図1の通電期間においては整流真空管も導通することから直流電圧計が水銀整流器のアノード/カソード間の電圧を検知することができる（より正確にはアノ-

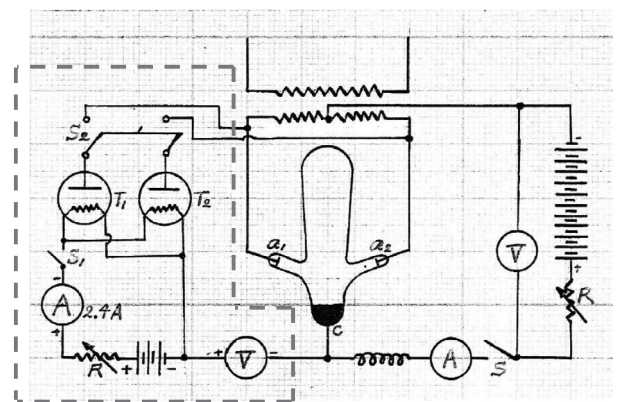


図2 直接電圧計法を用いた水銀整流器の電弧低下測定回路
後藤（1935）の p.5, 第2図より引用一部改変

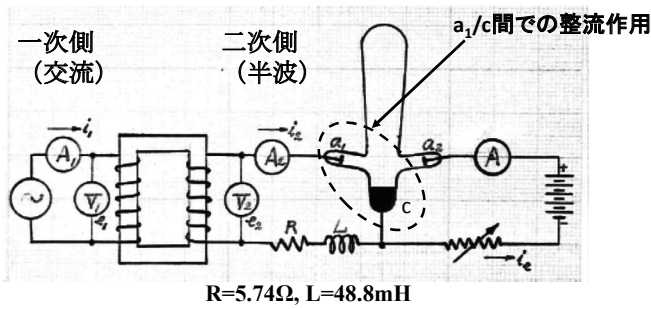


図3-1 水銀整流器を用いた半波整流回路の例
後藤(1935)のp.36, 第20図より引用一部改変

ドカソード間の電圧を整流真空管と電圧計で直列に分圧する)。一方非通電期間において発生する負電圧は整流真空管によって阻止されることから直流電圧計は損傷することなく計測を継続できることになる。本計測法によって得られる電圧波形例を図2の波形βに示す。

研究に供された水銀整流器の中でその製造元と規格が明示されたものは2機種が確認できる。一方は日本電池株式会社製の単相硝子水銀整流器で、製品名を「Glaitor」と称する。規格はA.C.100V、cycle=50/60、D.C.50V/15Aである。他方は株式会社明電舎製の硝子円筒型六相水銀整流器で、規格はA.C.100V、cycle=60、D.C.100V/30A; 相関リアクトル有、励弧極無である。前者を用いた基本的な半波整流回路を図3-1に示す。一次側の交流回路をトランスで二次側回路に変圧させる。二次側には水銀整流器のアノード(a₁)とカソード(c)が接続されており、この部分で整流作用が働くことから電流波形は半波として出力される。図3-2に二次側の電圧と電流波形を示す。二次側電圧のピーク実数値(E₂)は75V、二次側電流の平均値(I₂)は3.8Aである。

日本電池株式会社製の水銀整流器に関しては上記と同一規格ではないものの「Glaitor」の大容量対応と思われる機種の姿写真を確認できた(岡村1987)。図4として引用する。アノード電極は6本取り付けられており、製造年は1939年(昭和14年)である。この製造には熟練の手細工による硝子加工技術が必要とされた。アノード電極が一見折れ曲がっているように見えるのは耐逆電圧の向上とアーク損失の低減を図る為に構造最適化された結果である。

学位請求論文は1934年(昭和9年)8月14日付で提出され、審査を経た後、1935年(昭和10年)7月12日付¹

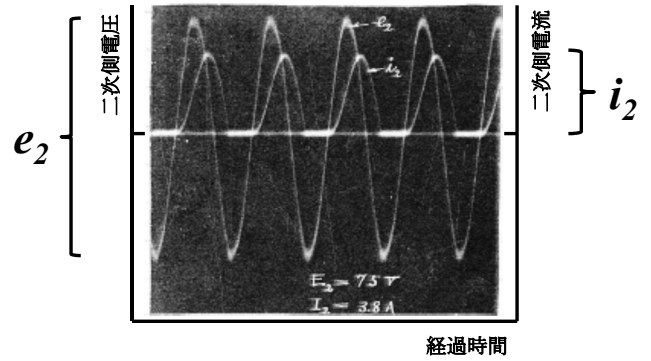
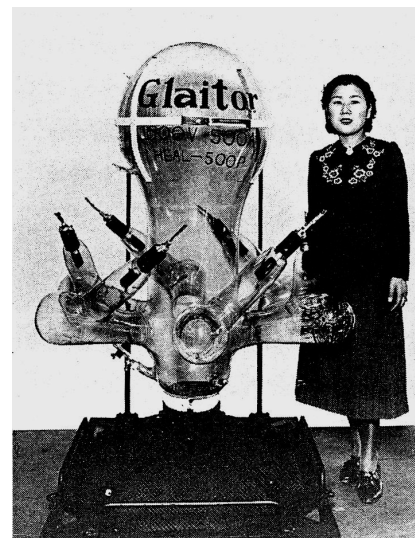


図3-2 水銀整流器を用いた半波整流回路による出力波形例
後藤(1935)のp.36, 第21図より引用一部改変

で学位が授与された(九州帝国大学時報1935)。審査委員は荒川文六教授、森兵吾教授そして清山久吉教授の3名である(九州帝国大学時報1936号外)。

学位請求論文が提出された翌年の論文(後藤1936)には格子付水銀整流器の有用性に関する言及が認められる。これは今日「サイラトロン」と称される電子管の構造を意味しており、網状の制御グリッド電極を備えているのが特徴的である。この改良により金属精錬(Al, Mg, Zn等)を目的とした電解プロセスに於いて特に大電流連続通電特性の向上が期待されていた。当該論文では株式会社日立製作所と協力して10kA級の製品開発に協力する旨が記載されている。



1939年製造
(6陽極, 600V/500A)

図4 日本電池株式会社製の水銀整流器(Glaitor)の姿写真
岡村(1987)のp.272, 図6・18より引用

5. 今後の研究課題について

本稿は「水銀整流器」・「九大」というキーワード間の関係性について行った基礎的な文献調査に係る予備的な報告である。九州大学博物館には理工学関連の研究に供された実験・実習用機器類が多数収蔵されており（九州大学総合研究博物館 2015）、今後はこれら収蔵物と水銀整流器を含む当時の各種整流器がどのような関係性を有していたのかという視点を加えることで研究の幅を拡げて活動を継続したいと考えている。

謝辞

本研究の機会を与えて頂いた三島美佐子准教授に感謝いたします。

注

1 学術研究データベース・リポジトリ (<http://dbr.nii.ac.jp>) では学位授与年月日として昭和10年7月8日と記載されている。

参考文献

秦常造・久保俊彦. 1936. 『水銀整流器』, 修教社, 東京.
青木佐太郎. 1946. 『水銀整流器と放電管』, 株式会社電気日本

社, 東京.

- 降矢芳郎. 1926. 小規模の蓄電池充電に適する「各種整流器の比較実験」の報告. 九州帝国大学工学彙報, 福岡. Vol.1, pp.17-22.
- 後藤文雄. 1935. 水銀整流器の実験的研究. 九州帝国大学博士論文, 福岡.
- 後藤文雄. 1933. 陽極を励弧極に代用した経験. 富士電機時報, 東京. Vol.10, No.3, pp.104-105.
- 後藤文雄. 1933. 水銀整流器の電弧保持法に就て. 電気学会雑誌, 東京. Vol.53, No.544, pp.976-977.
- 後藤文雄. 1934. 研究速報 単相硝子水銀整流器の三基直列運転法. 電気学会雑誌, 東京. Vol.54, No.552, p.795.
- 後藤文雄. 1934. 硝子水銀整流器の定格決定に就て. 電気学会雑誌, 東京. Vol.54, No.553, p.144.
- 後藤文雄, 藤伝. 1935. 耐量異なる水銀整流器の平行運転に就て. 電気学会雑誌. Vol.55, No.565, p.763.
- 岡村総吾編集. 1987. 電子管の歴史 — エレクトロニクスの生い立ち —. 株式会社オーム社, 東京.
- 九州帝国大学時報. 1935. 彙報○学位授与. 第381号 (昭和10年7月25日 木曜日), p.138.
- 九州帝国大学時報. 1936. 論文審査要旨. 号外 (昭和11年6月8日 月曜日), pp.51-53.
- 後藤文雄. 1936. 電解工業と水銀整流器. 九州帝国大学工学彙報, 福岡. Vol.11, No.7, pp.299-30.
- 九州大学総合研究博物館. 2015. 『九州大学所蔵標本・資料 2012年度版』, 九州大学総合研究博物館編集・発行, 福岡.

Received December 1, 2015; accepted February 3, 2015

History of Research on Mercury-Vapor Rectifiers at Kyushu Imperial University

Hajime AKIYAMA

The Kyushu University Museum: Hakozaki 6-10-1, Higashi-ku, Fukuoka 812-8581, Japan

In 1935, Dr. Gotoh published a dissertation titled “Experimental research for mercury-vapor rectifier.” The mercury-vapor rectifier (MVR) is an electrical device that has the function of converting alternating current into direct current. It was invented by C. Hewitt in 1900. In Japan, in 1923, an imported MVR was provided for practical use for the first time in Kyoto. By 1933, the total electric power capacity of domestically produced MVRs exceeded that of the imported ones. Therefore, it is recognized that the MVR research by Dr. Gotoh was one of the pioneering studies in Japan. The main theme discussed in his dissertation is “Stable Operation of the MVR.” An MVR might cause an arc voltage decrease at start time or a load change accident. One purpose of the research was to avoid the risk of these unstable operations, consequently extinguishing arcing or preventing other abnormal operation of the MVR.

Key words: Mercury-vapor rectifier, Mercury-arc rectifier, Excitation pole, Storage battery, Direct voltmeter method

Figure and table captions

Table 1. Research, development, and mass production chronology of mercury-vapor rectifier (Aoki 1946).

Table 2. List of the thesis that assumes “Mercury-vapor rectification” to be key word.

Table 3. Performance comparison experiment results of mercury-vapor rectifier and various rectifiers (Kouya 1926, p. 21, Table 5).

Figure 1. Comparison of the voltage transitions between anode and cathode (modified from Gotoh 1935, p. 5, Fig. 1).

Figure 2. A measurement circuit for mercury-vapor rectifier by using the direct voltmeter method (modified from Gotoh 1935, p. 5, Fig. 2).

Figure 3-1. An example of a half-wave rectifier circuit with mercury-vapor rectifier (modified from Gotoh 1935, p. 36, Fig. 20).

Figure 3-2. An output waveform example of half-wave rectifier circuit with mercury-vapor rectifier (modified from Gotoh 1935, p. 36, Fig. 21).

Figure 4. A photograph of mercury-vapor rectifier (Glaitor) made of Japan Storage Battery cooperation (Okamura 1987, p. 272, Fig. 6-8).