

「ニュージャージーの発明」

横河電機
松本栄寿

ニュージャージー

ニュージャージー州には二人の電気の発明家があった。電球、蓄音機、映画の発明王、トーマス・エジソン(1847-1931)、電気計器のエドワード・ウエストン(1850-1936)である。

エジソンはメンロパークの研究所で白熱電球を発明し、後にウエストオレンジに大規模な研究工場を設立している。ウエストンもその近くに研究所を建てた。彼はアーク灯と直流発電機ダイナモでは成功を収めたが、とくに電気計器の分野で世界に名を残している。エジソンにとってもウエストンは競争相手との意識しか持たなかったが、しだいに彼の電気計器に一目置くようになった。最終的には自分の研究所でも使ったようである。

また、ウエストンの発明と計器の優秀さを始めに認めたのは、アメリカ国内ではなく、当時の先進国ドイツの物理学研究所(PTB)であった。

ニューヨークからハドソン川を隔てた対岸にあるニューアーク市は、ボストン、ニューヨークについて早くから都市化が進み、19世紀後半から20世紀初めにかけて、皮革・化学肥料・金属・宝石・電気など活気にあふれた工業の中心地であった。チャールス・グッドイヤー(1880-1860)がゴムの加硫法を研究し、ジョン・ハイアット(1837-1920)は玉突き用に象牙にかわる材料として、現代のプラスチック、セルロイドを発明した。今でも近郊にはATTの研究所や、大規模なATTアーカイブスなどがある。

ウエストンとその発明

ウエストンの偉いところは、単に電流をはかる

電気計器だけでなく、電圧や電気抵抗の基本量となる標準電池、安定な抵抗線素材などを研究し実用化したことである。ウエストン電気計器社の製品は文字通り全世界に輸出され、その計器の構造は世界中の計器メーカーに影響を与え、基本構造は100年後の現在も使われている。

しかし、このウエストンの電気計器をいち早く採用したり、磁石や抵抗マンガニン線に高い評価をあたえたのは、アメリカの機関ではなくドイツの研究所(PTB)であった。

[ウエストンの環境は]

1850年：英国バーミンガム近郊で生れる

1870年：ニューヨークで電気メッキ

1877年：ウエストン・ダイナモ社設立

(エジソン)1879年：エジソン白熱電球発明

(エジソン)1882年：エジソンパール発電所

1886年：精密直流電流計(0.5%)を完成、ウエストン電気計器社を設立

1888年：合金コンスタンタンを発明

1891年：交流電圧計、ウエストン標準電池(交流)

1892年：ウエスティングハウス・ナイヤガラ発電所完成、交流時代

1892年：合金マンガニンを発明

1893年：シャント方式大電流計

1908年：ウエストン標準電池IEC国際標準

1900年以降：ウエストン社成長・拡大

1936年：エドワード・ウエストン死去

1945年：第二次世界大戦後

ウエストン社の主力製品に逆風

・パネルメータ：デジタル技術へ

・露出計：カメラの一部になる

・標準電池：ジョゼフソン接合に

1988年：ウエストン社操業停止

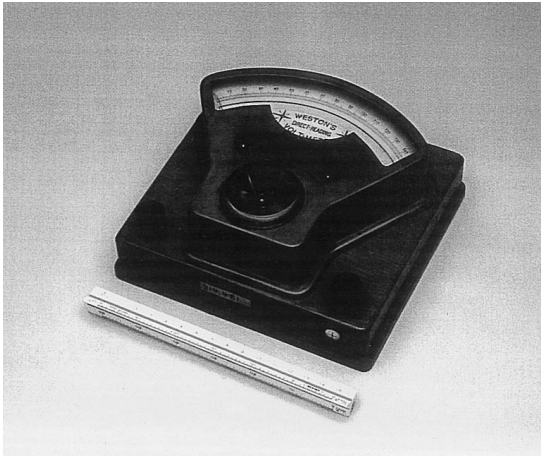


図1 精密直流電流計(ポータブル型, 1886年開発)
永久磁石, スプリング(ベリリウム銅), 精度0.25-0.5%, 軸受けにピボット, 視差をなくすミラーなど

精密電気計器

ことの発端は、ウェストンが、1886年フランクリン協会主催のフィラデルフィア電気博覧会にダイナモ数台を出品したことにある。その時あまりにも調整に手間どった。それは電圧や電流を手早くはかれる道具がないことである。ポテンシオメータ(電位差計)とガルバノメータではかる方式であったと思われる。ここでウェストンは大変苦勞した。ウェストンは計器は誰にでも「はかった値」が簡単に読める必要があると考えた。今では当たり前のことだが、針の先で目盛を読むとそれが電圧値(ボルト)や電流値(アンペア)となる計器のことである。そして、どんなところに持っていても狂わないものが要求された。

精密直流電流計はポータブル(日本語で携帯用)と名付けられている。何故だろうか、それまでの計器はポータブルではなかった。つまり初めは電流計といえども、研究室で専門家は使えたが、誰でもが持って歩いて使える代物ではなかったからである。

内部には現代の計器と同じく、「永久磁石」、「コイル・ピボット」、「ヒゲゼンマイ」を採用した。磁石によって生じた磁界と、内部のコイルに流れる電流の作用で回転力が発生する構造である。

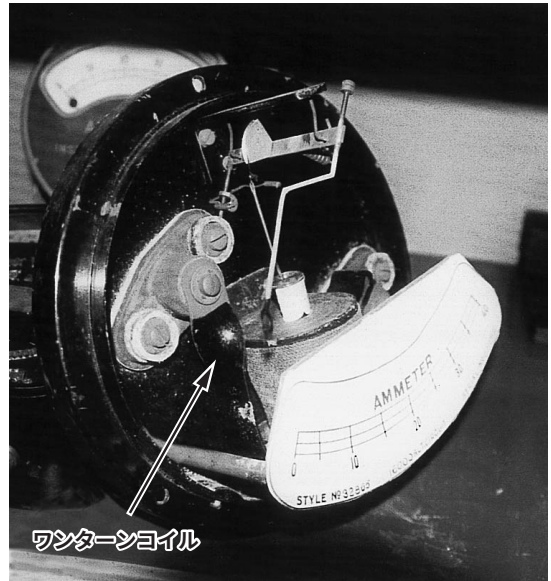


図2 ワンターンコイル大電流計
(ウエスティングハウス1880年頃)

このコイルに指針をつけて指針の先の目盛から電流値を読む方式である。このとき、強さが永遠に変わらない磁石が基準となる。そんなものがあるだろうか、誰しもが信用しなかった。ウェストンが苦勞して造った磁石の強さが、長期間変化しないことを証明したのはドイツのPTBであった。つまり永久磁石と呼べた(図1)。

マンガン抵抗の発明

ウェストンのポータブル直流計器は、競争者の数倍の金額でも売れた。また、電気計器の先進国ドイツの教育機関でも採用された。彼はさらに発展しつつある電力分野を目指した。それには数百アンペアの大電流計が必要になる。現代では電流シャント方式を使う。

1. 電流シャント方式

それまでは数百アンペアをはかる電流計も測定する電流を計器の内部に直接流した。端子からの幅広い銅のベルトでそのままコイルを作る。コイルは一巻き(ワンターン)で、その中心に入れた鉄片が吸引され、錘とバランスさせる方式である。しかし電流が計器内部を流れるので計器内部で発

熱して計器の特性に悪い影響を及ぼした(図2)。

シャント抵抗方式の電流計とは、例えば100Aをはかる際には0.5mΩの抵抗を作り、これに電流を流して両端に生ずる50mV電圧を精密電圧計ではかる方式である。この時の抵抗に、初めは合金ジャーマンシルバーを使ったが、温度特性が悪く誤差が生じた。ウエストンはより安定な抵抗素材を追求して、コンスタンタンとマンガニンを発明している。ここで「コンスタンタン」も「マンガニン」もウエストンの発明であるが、ともに固い金属で当時のアメリカでは線引きができなかった。やむなくドイツの企業に線引きを依頼している。合金の名称はドイツの試験機関が命名したと伝えられる(図3)。

[三種の抵抗の特徴は]

Record of Alloys.		
Westons Laboratory.		August & Sept. 1885.
1	75% Ag. + 25% Mn.	Not prepared.
2	75 " + 25 Fe Mn.	" " "
3	25 " + 25 " + 50 Al.	" " "
4	25 " + 25 Mn + 50 Cu.	not prepared.
5	25 (Ag + Pt) + 25 " + 50 "	" " "
6	75 Cu + 25 Fe Mn.	low grade Fe Mn used
7	70 " + 15 Fe + 15 Ni.	" " "
8	60 " + 40 Ni.	" " "
9	50 " + 50 "	" " "
10	25 " + 10% Ni.	all " 25 "
11	70 Cu. + 30 Ni.	Rolls well, though hard.
12	65 " + 25 Fe Mn + 10 Ni.	" " "
13	65 " + 30 " + 5 Ag.	Rolls well.
14	75 " + 25 Mn.	much loss of Mn.
15	50 " + 20 Fe Mn + 25 Zn. + 5 Ni.	" " "
16	80 " + 20 Al.	Very short, reacting, no change
17	70 " + 20 Fe Mn + 10 Al.	" " "
18	70 " + 25 " + 5 "	Shrinks very.
19	70 " + 25 " + 5 Ni.	" " "
20	65 " + 30 " + 5 "	" " "
21	6 1/2 " + 30 " + 2 1/2 "	" " "
22	72 1/2 " + 25 " + 2 1/2 "	" " "
23	50 " + 25 " + 25 Zn.	" " "
24	50 " + 25 " + 25 "	" " "
25	75 " + 25 " "	" " "

図3 ウエストンアロイの実験データ
(ニュージャージー工科大学
バンホーデン記念図書館蔵)

「ジャーマンシルバー」：銅/ニッケル/亜鉛
白色の合金、温度特性があまり良くない。

「コンスタンタン」：銅/ニッケル

室温以下：正、室温以上：負温度係数＝コンスタンタンは「銅」との間に熱起電力が生ずる欠点がある。

「マンガニン」：マンガン12%/ニッケル4%/銅84%，低温度係数，低熱起電力の特徴
温度係数0-10℃：0.000025，15-30℃：ゼロ，30℃以上：負温度特性。

最初ウエストニアンと呼ばれ、のちにマンガニンと命名される。

ときは電力工業が立ち上がりとする時期であった。今では当たり前ともいえる大電流のシャント抵抗方式でも、シャント抵抗をどこに置くか、発生する熱をどうするか問題である。結局、図で示すようにこの部分で発生する熱は端子ブロックから行われ水冷方式もあった。それまでは測定する電流を配電盤に取り付けた計器まで引き入れていたから、途中の導線での電力損失ばかりでなく、計器内部の損失も大きく減らせることが分かった。

ウエストンのステーション電流計は、ウエストン電気計器社を全国に有名にした。現代のは大電流シャントは定格電流で50mVの電圧降下が得られるように設計されている。精密直流電流計とマンガニン・シャント方式が、まずウエストン社の基礎をつくった(図4)。

2. 抵抗標準

このマンガニンがシャント抵抗の材料としてのみでなく、抵抗の標準としても使えるほど優秀なことが分かった。1892年ウエストンがマンガニンを発明してから、これもドイツのPTBが最初にマンガニン線から標準抵抗器を作り、さらに抵抗値を長期間にわたって測定して安定性も確認した。マンガニン抵抗器が世界中に使われる動機をつくった。

電気の世界で電圧や抵抗の基準がないことは、1858年の大西洋横断海底ケーブルが失敗して、原因を追及した時にも問題になっていた。この際の基準となる抵抗器は長期間安定であること、温

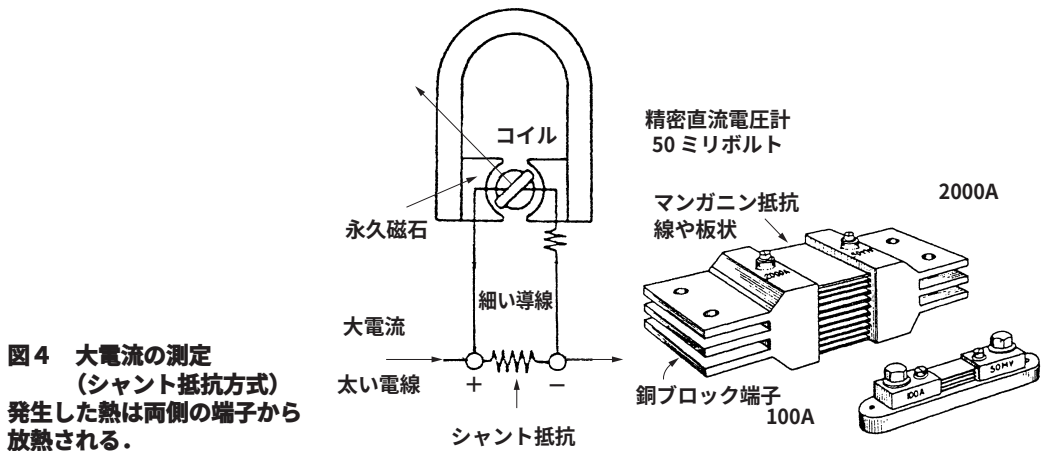


図4 大電流の測定
(シャント抵抗方式)
発生した熱は両側の端子から
放熱される。

度によっても値が変わらないことが求められる。国際標準器は水銀柱の長さが採用されたが、マンガニンで作られた標準抵抗器はどこでも持ち運びができるなど実用性に富み、広く使われた。やがて国際標準器は量子ホール効果と呼ばれる素子となるが、マンガニンのような標準抵抗器は実用的なメリットがあり永らく使われている。

マンガニン標準抵抗器の値も、実は作業者が精密に合わせた。百万分の一(1ppm)の精度の抵抗器を作るには、まず線材の長さを調節し、ついで線を注意深くやすりでけずりながら途中で値をしらべ、何度も繰り返す作業はまさに名人技であった。このような標準抵抗は0.001Ωから1MΩまで作られた。その安定度は一年で百万分の一も狂わない(図5)。

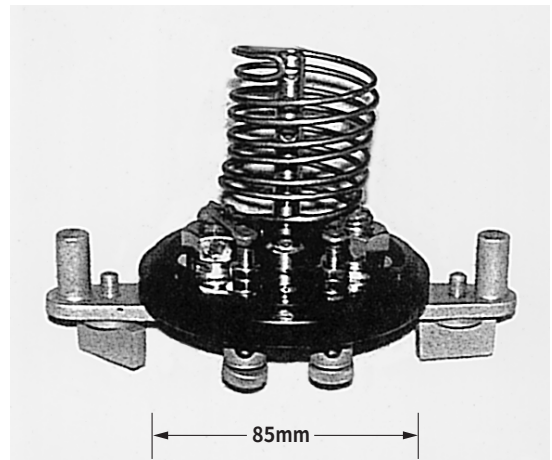


図5 標準抵抗器の構造図
(マンガニン線使用、精度1ppm)
メーカーはリーズ・ノースラップ社、
横河電機、島津製作所など

〔抵抗標準の歴史をしてみよう〕

最初の抵抗標準は電線の長さと定義された。

- 1838年：レンツの1フィートの11番銅線
- 1850年：イギリス1マイルの16番線銅線
- 1860年：ジューメンス、長さ1mの水銀柱、0.96オーム。
- 1861年：電気抵抗の標準化国際会議
- 1888年：ウェストン「コンスタンタン」発明
- 1892年：ウェストン「マンガニン」発明
- 1892-1893年：ドイツ国立物理学研究所PTR
1オームの標準抵抗器を作る。
- 1906年：シカゴ国際会議、国際抵抗1オームを
106.30cmの水銀柱とした。

- 1907年：アメリカNBSが標準抵抗器開発、以後
リーズノースラップ社が製作
- 1923年：電気試験所マンガニン標準抵抗器を製
作
- 1990年：国際標準は量子ホール効果素子に

<参考文献>

- 1) Joseph F. Keithley ; “The Story of Electrical and Magnetic Measurements from 500BC to the 1940s”, IEEE Press, (1999), 193/201.
- 2) 松本栄寿：『「はかる」世界』—「魂のはかり」から「電気のはかり」まで—, 玉川大学出版部(2000)83/94.