

「ウエストンの発明」

横河電機
松本栄寿

電気計器・エレクトリック・インスツルメンツの歴史にとって、エドワード・ウエストンは20世紀前半の最大の功績者であろう(図1参照)。電圧・電流をどこでも精密に計れるポータブル・インスツルメンツを開発した人物である。

1886年にはポータブル(携帯用)精密電気計器、続いて1892年には抵抗値の変化が百万分の一(1ppm)と極めて安定な抵抗材料マンガニンを開発し、シャント式の大電流計器を実用化した。いまでは当たり前の100アンペア以上でもロスの少ないこのシャント抵抗方式は、電力工業の発展の時期に必要な計器であり、ウエストンの名を高めた。しかし、それにとどまらなかった。1891年には電圧の基準となる標準電池、ついでどこでも使える精度0.1%や0.2%の標準用電流計を開発している。要するに百年前に現在の計器の基本を作り上げた。

電圧標準

いまでは、「標準電池」という聞き慣れない言葉の意味をご存知ない方も多だろう。電気回路の実験の時も、安定な基準電圧が欲しければシリコン・ゼナーダイオードがある。また精密電圧発生器をもってきてダイヤルをくるくる回せば、1ボルトでも100ボルトでも任意の安定な電圧が得られるから、何の不自由もない。かつては日本の国家標準も標準電池であったが、現代では、「ジョゼフソン素子」と物理的な素子になって電池という名は消え去った。

しかし、1980年ころまではそうではなかった。精密な基準を得るには標準電池なるものが存在していたし、また正確に電流や電圧を計るには40センチ角もの大型の標準用計器を使った。驚いたことにこの両者ともウエストンの発明で19世紀末には完成していた。

ウエストンはダイナモの実験や精密電気計器の開発をする際に、電圧、電流を測定するには、簡単にどこでも使える正確な基準となる電圧源が必要なことに気付いた。電気抵抗は、標準の抵抗があればブリッジで比較することができる。しかし、基準となる電圧がなければ計器を現場で校正もできなければ、目盛付けもできない。

ボルタの電堆の発明以来、さまざまな電池が工夫された。大きな電力を得ることが目的の鉛電池や、電位差計・ポテンシオメータなどの基準には、年単位で安定な、周囲の温度に影響されない標準電池が必要であった。

ウエストンは標準電池の開発を1884年に始めた。それまで電圧標準として使われていた、クラーク電池の電圧は、温度係数が大きく現場では使いにくかった。彼の完成したカドミウム標準電池

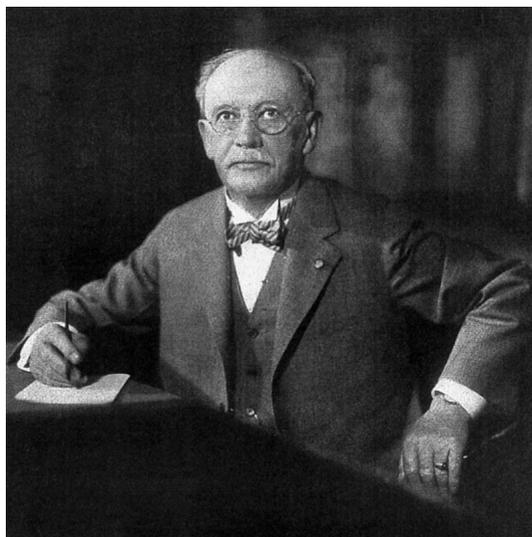


図1 エドワード・ウエストン

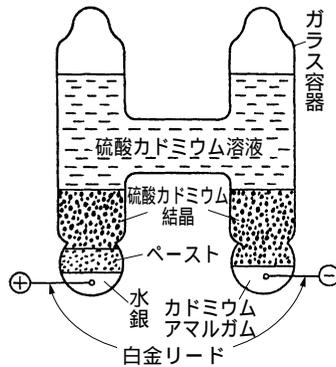
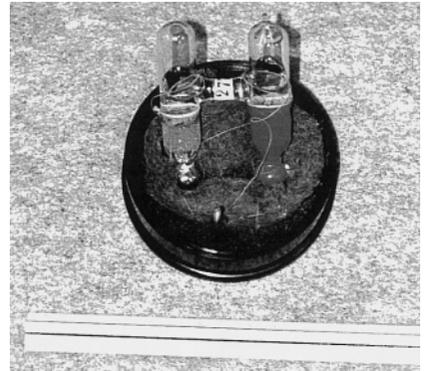


図2 ウェストン型標準電池と構造図(内部写真, 電気試験所製)



はIECの国際標準にもなり、発明以来約100年間にわたって使われた。

しかし、図2に示すように、標準電池はケースには入っているが、内部には電解液の入ったガラス容器がある。電池をひっくり返すことは厳禁であった。このような扱いにくい電池でも、1960年代までは自動平衡記録計の増幅回路に一個ずつ使われていた。

[電池の歩みを眺めてみよう]

- 1600年：ボルタの電堆
- 1836年頃：ダニエル電池・硫酸亜鉛に亜鉛と銅の電極
- 1857年：プラント鉛電池(充電可能な二次電池)
- 1867年：ルクランシェ電池(現代のマンガン電池の原型)
- 1872年：クラーク電池、亜鉛(-)、電解液(硫酸亜鉛)水銀(+)
起電力は安定していた。しかし温度特性に難がある。
- 1892年：ウェストン標準電池を完成した。
カドミウムアマルガム(-)・電解液(硫化カドミウム)・水銀(+)
飽和型電池で、起電力は20で1.0183ボルト
- 1903年：AIEE(米国電気学会)標準になる。
- 1908年：IEC(国際電気標準機構)の国際標準に
- 1926年：ETL(電気試験所)が標準電池を製作
- 1990年：電圧の国際標準はジョゼフソンに

標準用計器と目盛

前回、ウェストンの携帯用精密電気計器について説明した。ここでは「永久磁石」「コイル・ピボット」「ヒゲゼンマイ」を使って、安定な指示計器を追求したと説明した。そして、磁石の安定度を保証し、計器の優秀さを評価したのはアメリカではなく、ドイツ物理学研究所(PTB)であったことも説明した。このような計器を作るときに問題となるのは何だろうか。たしかに今述べたような計器の部品も重要であるが、具体的な計器の組立ノウハウもあったに違いない。

1. 標準用計器のダイヤゴナル目盛と特許

1980年頃まで作られていた、標準用計器は計器の外形が380mmの四角、重量11kgと大型で重かった。スケール長は310mmで電気回路の実験に使われたポータブル携帯用計器のスケール長130mmの約2.4倍である。その目盛は細かに読めるように工夫されていた。1%のスケール長すなわち1/100は3.1mm、0.1%にあたる1/1000は0.3mmになるが、この細かな読みを容易にするために標準用計器ではダイヤゴナル目盛を採用してきた。ダイヤゴナル目盛とは、バーニア目盛が出現する以前から使われていた一種の副尺である。図3に示すようにスケールは6本の同心円からなり、100区分された目盛り線と最も外側の同心円との交点と、その隣の目盛り線との最も内側の同心円との交点を直線で結ぶ。このダイヤゴナル線と同心円との交点が最小目盛1%の1/5となって、0.2%が直読できることになる。

第2回の「ペーン島の発見」で説明したように

この微細読み，ダイヤゴナル目盛の原点は少なくとも1600年のチコ・ブラーエの象限儀までさかのぼる¹⁾．これを電気計器に適用しようとしたのはウエストン自身にあったと推定される．

その論拠はウエストンの故郷であるニュージャージー工科大学にある．ここのバンホーテン記念図書館にはウエストンコレクションと呼ばれる歴史的な資料・史料が保管されている．これらは1936年にウエストン家から寄贈された品々で，ウエストンが作った直流発電機や電球など246点，稀覯本200冊，機器設計図数百点などが保管されている．このコレクションをたずねた筆者は，この中から幾つかのウエストンの特許申請書やウエストンの設計ノートを見つけことができた²⁾．

通常，登録された特許の明細書は米国特許庁で調べることができる．しかし，特許が却下されたもの，あるいは何かの理由で発明者が撤回した文書などは，特許庁には残されていないため，特許がどう扱われたかその詳細を知ることはできない．**図4**はこのコレクションに保管されていた米国特許庁の1892年の受領書である．これには付属文書があって，そこに特許の拒否理由が明記されている．いったん拒否されても，それに反박できる理由があれば発明者は異議を唱えることができる．しかし，この却下に対してウエストンが特許庁に異議抗告をした記録は見つかっていない．そこで特許申請を打ち切ったのであろう．チコ・ブラーエの象限儀で説明したように，ダイヤゴナル目盛はかなり以前から天体・測量機器の象限儀などに使われてきた．おそらくウエストンは，その

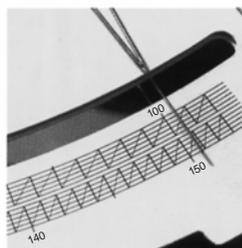
事情を知っていて，電気計器へのダイヤゴナル目盛の適用として特許出願をしたと思われる．それは残された次の計算書からもうかがえる．

2．ダイヤゴナル目盛の誤差

実は，ダイヤゴナル目盛は簡単な構造の副尺で，最小目盛の1/5まで直読できると説明したが，細かに見ると正確な角度の5等分にならず場所によって差がある．それは**図3**にあるように，最小目盛間を直線によって結んでいるが，このとき同心円の一番外側の長ささと内側の長ささが等しくないからである．どの程度なのだろうか．**図4**がその計算書である．細かには一番内側の角度が僅かに広く外側になるほど角度が狭い．ハインリッヒなる人物がこの計器の寸法から細かな計算をしている(**図5**参照)．その結果5区分の差は0.1%以下であるため，この計器では問題にならないと結論づけている．ここまで細かなチェックをしたことにも，ウエストンはダイヤゴナル目盛を電気計器に採用し，自信をもって特許申請しようとした背景がうかがわれる．

3．目盛の作成と校正

実はこの標準用計器の目盛は一台一台手書きだった．どうしてか？ 印刷はできなかったのか？ 過去の記録を調べ，経験者から状況を聞くと次の手順が明らかになった．試験台と呼ばれるデスクで2人の作業者が担当した．一人は校正された計器の前に座り，もう一人は新しい計器に白い目盛板を取り付けて隣に座る．2台の計器には同一の電流が加えられ，電流を加減しながら一人が親の計器の目盛を読み，もう一人が新しい計器のブラ



380×380mm
スケール長 310mm

図3 標準用計器
とダイヤゴナル目盛

ンクが目盛板に印をつける．それが終わると新しい目盛板をはずして，つけた印しを基にして細かな目盛を烏口で手書きしていた．

直流計器の場合は電流と振れ角は理論上は比例する．しかし実物の計器では，磁界が均一でなかったり，摩擦があったりしてごくわずかに直線からずれることがある．とくに計器のゼロ付近やフルスケール付近が均一にならない．これは0.2%の高精度の計器精度では無

視できなかった．このように目盛を手書きすることによって，微妙な直線からのずれを同時に補正することができた．手書きにした理由がここにある．なお手書き用には烏口と分割器と呼ばれる専用ジグが使われた³⁾．

このように繊細な電気計器には，設計や製作のノウハウを必要としたと思われる．ノウハウを国内メーカーはどう取得したのだろうか．技術提携か？ 技術導入か？ 20世紀の初めではそう言った権利意識は少なく，おそらくは現物のコピーから始まった．

ウエストンとNBS (NIST)

どうして私はウエストンの計器の目盛にこだわったのだろうか．それはどんなインスツルメンツも目盛をもつからである．自動車のダッシュボードでも，航空機の操縦席でも，家庭の健康器具でも，電気のインスツルメンツに限らずインスツルメンツには目盛がある．また現代のノギスの副尺の原点であるダイヤゴナル目盛が，どのようにして違った分野のインスツルメンツに技術展開されたかを知りたかった．

アメリカで電気の標準を担当するのはNIST (国立標準技術研究所)である．この前身のNBS (国立標準局)が発足したのは1901年のことで，

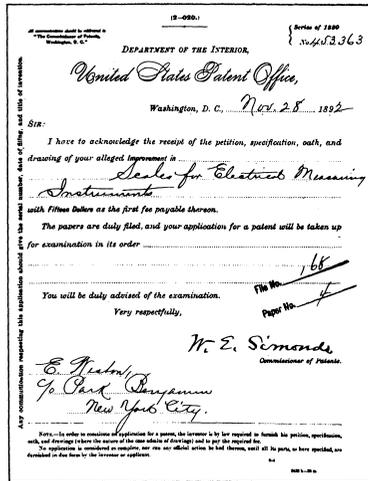


図4 電気計器の目盛特許受領書(米国特許庁 1892/11/28) NJIT パンホーテン記念図書館蔵

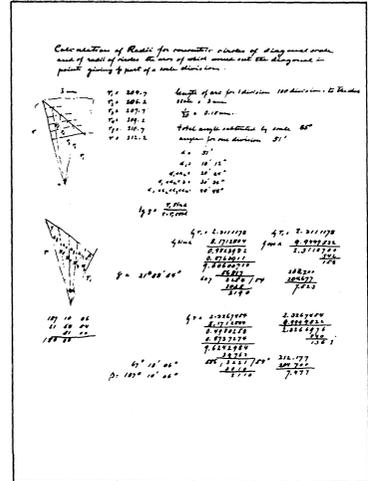


図5 ダイアゴナル目盛の計算書 (R.O.Heinrich,1892), NJIT パンホーテン記念図書館蔵

欧州各国の標準局にくらべて著しく遅かった．それまでアメリカでは度量衡の標準や電気の標準も，国として統一的に管理する部署はなかった．

1900年にハーバード大学のケネディ教授が議会の委員会をつぎのような証言した．「アメリカ国内のユーザーでも，権威のある検査証明書を必要とするユーザーは，ウエストンの計器をドイツに輸出してPTBの校正書をつけて再輸入している．ところが，PTBはウエストンの計器を使っている」⁴⁾．さすがの議会も驚いた．ウエストンの電気計器がNBSの設立をうながし，電気の標準の管理と点電気計器の検定を発足させる動機の一つになったことは疑いない．お粗末な話ではあるが，伝統的にアメリカは，州単位の独立行政に国家が関与することをさけてきた国である．

< 参 考 文 献 >

- 1) 松本栄寿「ベーン島の発見」オートメーション, Vol. 48, No. 8, 72/75(2002) .
- 2) 所在: Robert W. Van Houten Library, New Jersey Institute of Technology, University Heights Newark, NJ 07102-1982, USA; <http://www.njit.edu/archives/weston-museum/index.html> .
- 3) 松本栄寿「精密電気計器における細密読み 取りの歴史 ダイアゴナル目盛を中心に」電気学会論文誌, Vol.117-A, No. 1,(1997) 748 .
- 4) Rexmond C. Cochran, "Measures for Progress", US Department of Commerce, p. 38(1966) .