

電気電子工学特別講義Ⅱ
回路設計論 1. 先人が辿った道

ザインエレクトロニクス株式会社
源代 裕治
yuji.gendai@gunma-u.ac.jp

講義について

- 電気の歴史を話す
 - 先人たちの問題認識や努力の跡に迫る
- 回路論を土台から再構築する
 - 先人たちが開拓に用いた足場を取り払う
- 回路設計者の日常を少しでも伝えたい
 - とある回路設計者の思考形態の一部を紹介する

講義日程

場所: Zoomオンライン

時間: 火曜 16:00~17:30

-
- 第1回 2022年10月 4日(火) 回路の歴史 この回のテキストは『先人の辿った道』
先人たちの苦勞、今に残る混乱、後を追う者も楽じゃない
- 第2回 2022年10月11日(火) 回路の理論1 (枠組み) ここから3回は『我々が辿る道』
回路とは部品(=branch)の接続(=node)に電流・電位の属性を付与したグラフ
- 第3回 2022年10月18日(火) 回路の理論2 (branch属性)
直線性定理とその系(Thevenin/Norton)
- 第4回 2022年10月25日(火) 回路の理論3 (他動素子)
飛び道具branch達, 繰り返し回路
- 第5回 2022年11月1日(火) アクティブ素子1 (歴史展望) ここから3回は『回路屋の身だしなみ』
真空管は人類が初めて手にした能動素子。何もかもが初体験
トランジスタの時は、勝手違いに手を焼きながらも、真空管の経験が生きた
- 第6回 2022年11月8日(火) アクティブ素子2 (動作点設定)
回路と友達になりましょう
- 第7回 2022年11月15日(火) ICの基本回路
差動対+カレントミラー≡IC回路

注意事項

- 源代担当分の成績は、出席と最終レポートで決めます。
- 毎回レポート課題を出します。出席は、その提出の有無で判断します。
 - ✓ その出来栄は成績に反映しません。何としても提出してください。
- 最終レポートの課題は、最終講義時に提示する予定です。
 - ✓ 最終レポート提出は単位取得の必須条件です。
 - ✓ 最終レポートの内容と出席率で成績を付けます。

『電気』って何ですか？

似たような単語に、電流、電子、電荷などがある。
それらとは違うものだろうか？

幾多の先人たちの苦闘があり、既に多くの事が理解されている。
が、先人たちが探求のために作った足場が、まだ至る所に残っている。
完全に整理される見込みは殆どない。**跡を辿る者も楽ではない。**

群盲象を撫でる



『群盲象を評す』とも言う。ジャイナ教の伝承では、6人の盲人が、ゾウに触れることで、それが何だと思うか問われる形になっている。

足を触った盲人は「柱のようです」と答えた。尾を触った盲人は「綱のようです」と答えた。鼻を触った盲人は「木の枝のようです」と答えた。耳を触った盲人は「扇のようです」と答えた。腹を触った盲人は「壁のようです」と答えた。牙を触った盲人は「パイプのようです」と答えた。

それを聞いた王は答えた。「あなた方は皆、正しい。あなた方の話が食い違っているのは、あなた方がゾウの異なる部分を触っているからです。ゾウは、あなた方の言う特徴を、全て備えているのです」と。

他、異説多数 (by Wikipedia)

Andrew John Wiles

Perhaps I could best describe my experience of doing mathematics in terms of entering a dark mansion. One goes into the first room, and it's dark, completely dark. One stumbles around bumping into the furniture, and gradually, you learn where each piece of furniture is, and finally, after six months or so, you find the light switch. You turn it on, and suddenly, it's all illuminated. You can see exactly where you were.

for $n \geq 3$.

[Quoted from *Did earlier thoughts inspire Grothendieck?* by Frans Oort, who refers to the BBC documentary by S. Singh and John Lynch: *Fermat's Last Theorem*. Horizon, BBC 1996.]

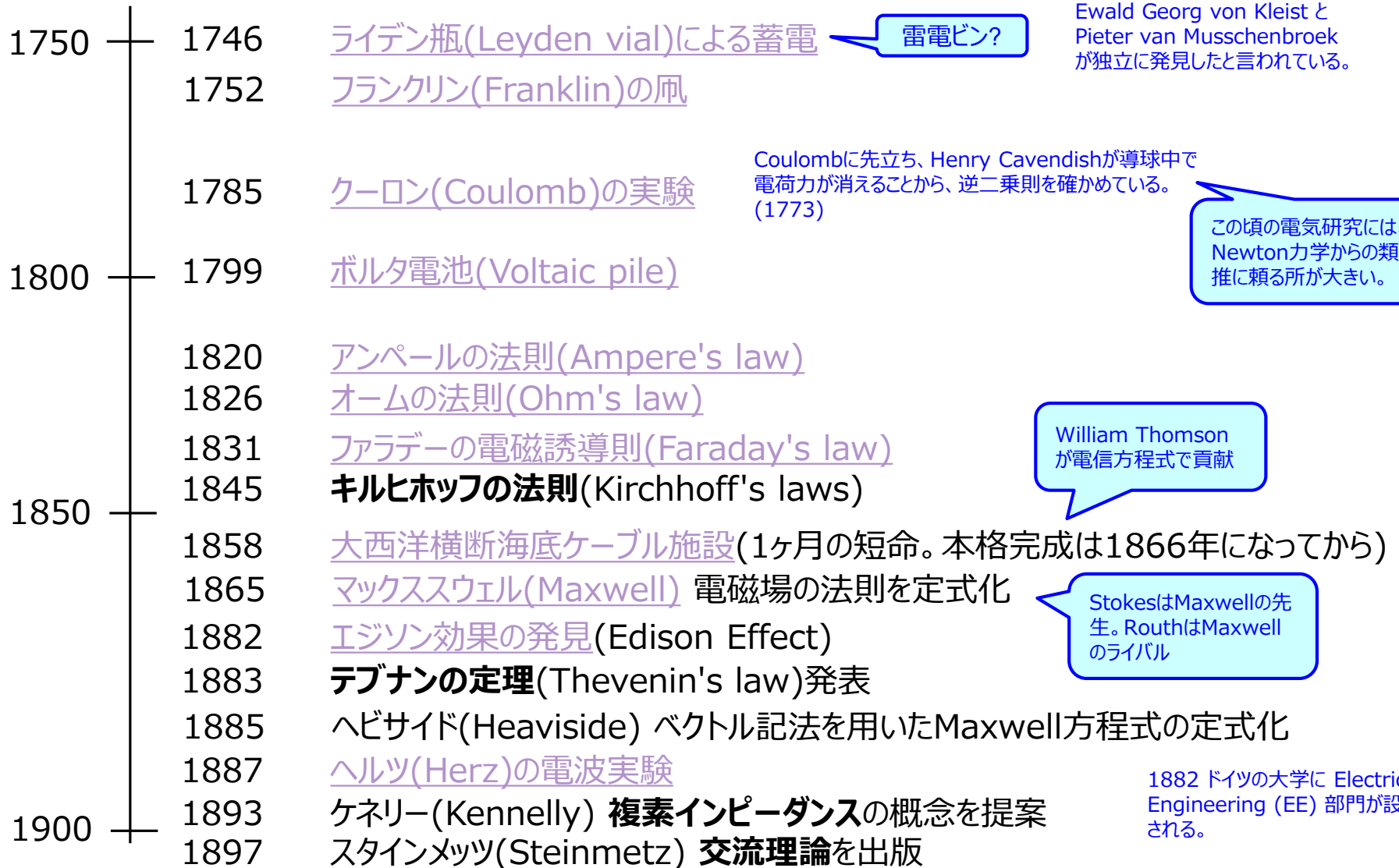
<https://micromath.wordpress.com/2011/11/06/andrew-wiles-on-doing-mathematics/>



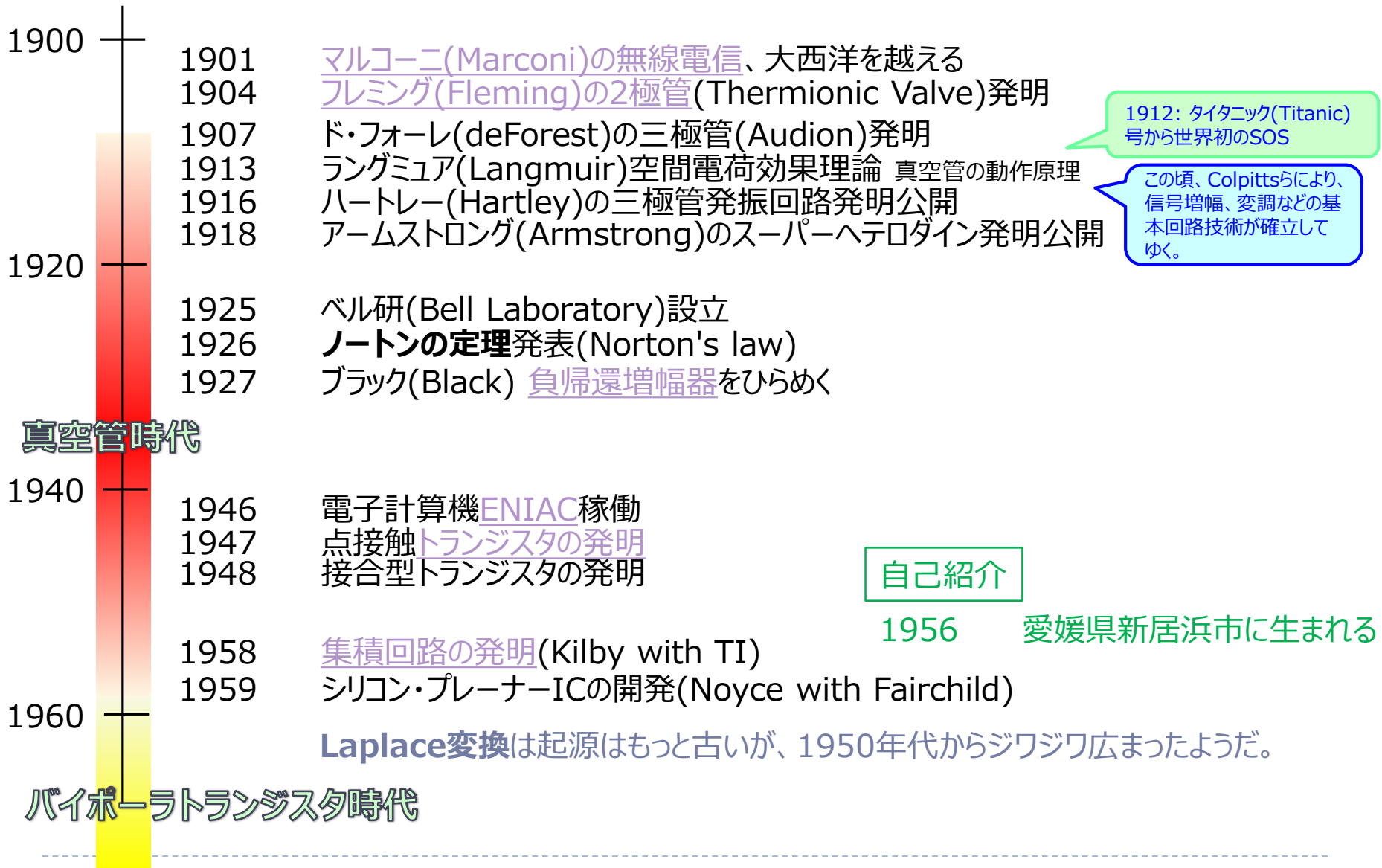
<https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3493189/British-mathematician-Sir-Andrew-Wiles-gets-Abel-math-prize.html>

私の電気史観(19世紀)

何年かに及ぶイベントの表示には
ブレが避けられない。



私の電気史観(20世紀前半)



私の電気史観(20世紀後半～現在)

バイポーラトランジスタ時代



注:年代スケールは前頁の2倍

- Bob Pease, "Focus on: Bob Pease on Analog," Vol. 1 and Vol. 2
https://www.electronicdesign.com/Electronic_Design_Library_Bob_Pease_eBook_Vol._1, from '90s or so.
- Jim Williams, "Analog Circuit Design: Art, Science, and Personalities," Butterworth-Heinemann, 1991.
- Jim Williams, "The Art and Science of Analog Circuit Design," Butterworth-Heinemann, 1998.
- 松本栄寿, "計測ミュージアム," <http://www.ksplz.info/+museum/>
- 丹羽保次郎, "電気をひらいた人々--改訂増補版," 東京電機大学出版局, 1972.
- 太田浩一, "マクスウェルの渦、アインシュタインの時計," 東京大学出版会, 2005.
- 菊池誠, "若きエンジニアへの手紙," 工学図書, 2006.
- AT&T Bell Laboratories, "A History of Engineering and Science in the Bell Systems, Transmission Technology(1925-1975)," 1985.
- Franco Maloberti and Anthony C. Davies, "A Short History of Circuits and Systems," River Publishers, 2016.

- Gustav Kirchhoff, translated by J. B. O'Tool, "On the Solution of the Equations Obtained from the Investigation of the Linear Distribution of Galvanic Currents," IRE Trans. of Circuit Theory, Vol.5, Issue 1, pp. 4-7, March, 1958.

An English translation is given of Kirchhoff's classic paper in 1847.

- Herold S. Black, "Inventing the negative feedback amplifier--Six years of persistent search helped the author conceive the idea "in a flash" aboard the old Lackawanna Ferry," IEEE Spectrum, pp. 55-60, Dec. 1977.
- William Shockley, "The path to the conception of the junction transistor," IEEE Tran. Electron Devices, Vol. ED-23, No. 7, pp. 597-620, July 1976.
- The Bell System Technical Journal
<https://onlinebooks.library.upenn.edu/webbin/serial?id=belltechj>

ハルロック



西餅による日本の漫画作品。「電子工作×女子大生 = 今まで見たこともないマンガ！」と銘打つ。「分解魔」、「ドライバー少女」と言われた「はるちゃん」が電子工作で活躍する内容となっている。作中に出てくる「猫ツイッター」は実際に作成され、「Maker Faire Tokyo 2014」へ出展された。

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%8F%E3%83%AB%E3%83%AD%E3%83%83%E3%82%AF>

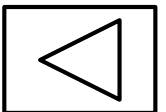
ライデン瓶(Leyden jar)

1746

ほんの少しではあるが、とにかく電気を蓄えられるようになった。



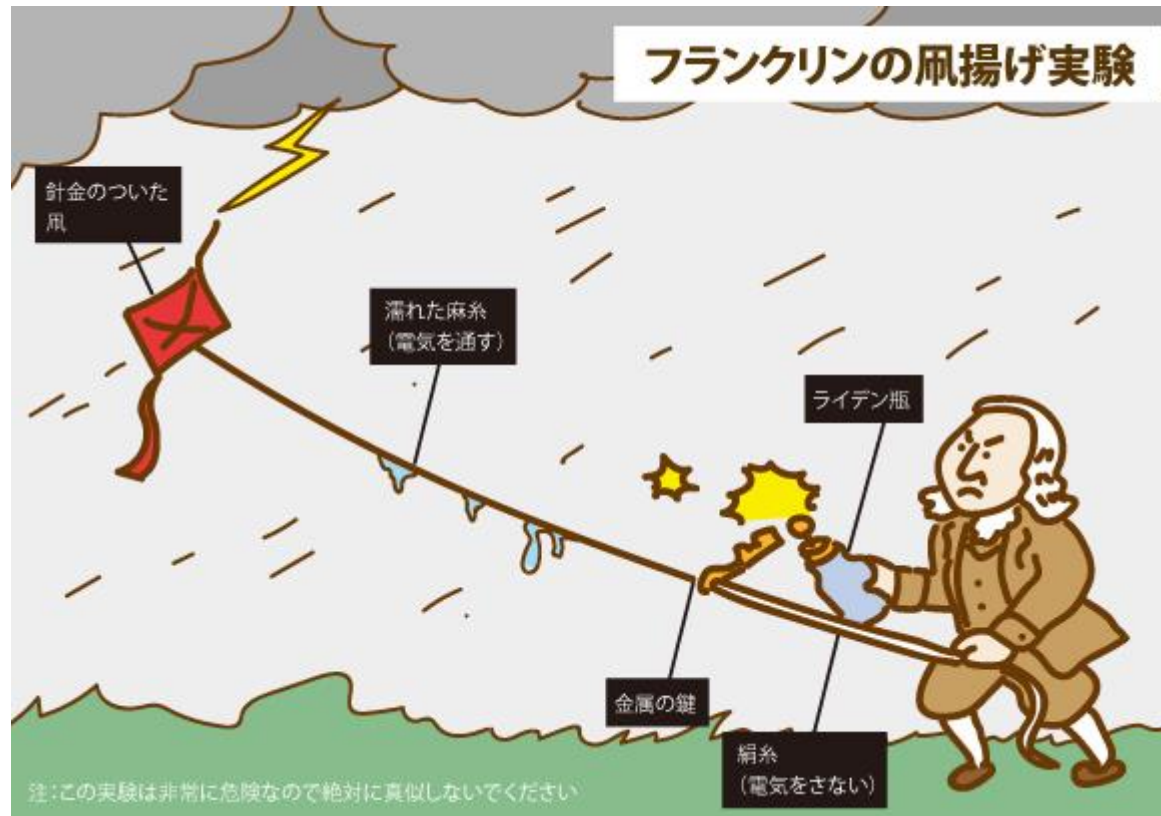
<https://www.wired.com/2017/01/the-physics-of-leyden-jars/>



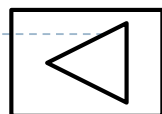
Franklin's kite experiment

1752年6月

この実験には疑義がとなえられているが、いずれにしても電気研究に対するフランクリンの貢献は大きい。



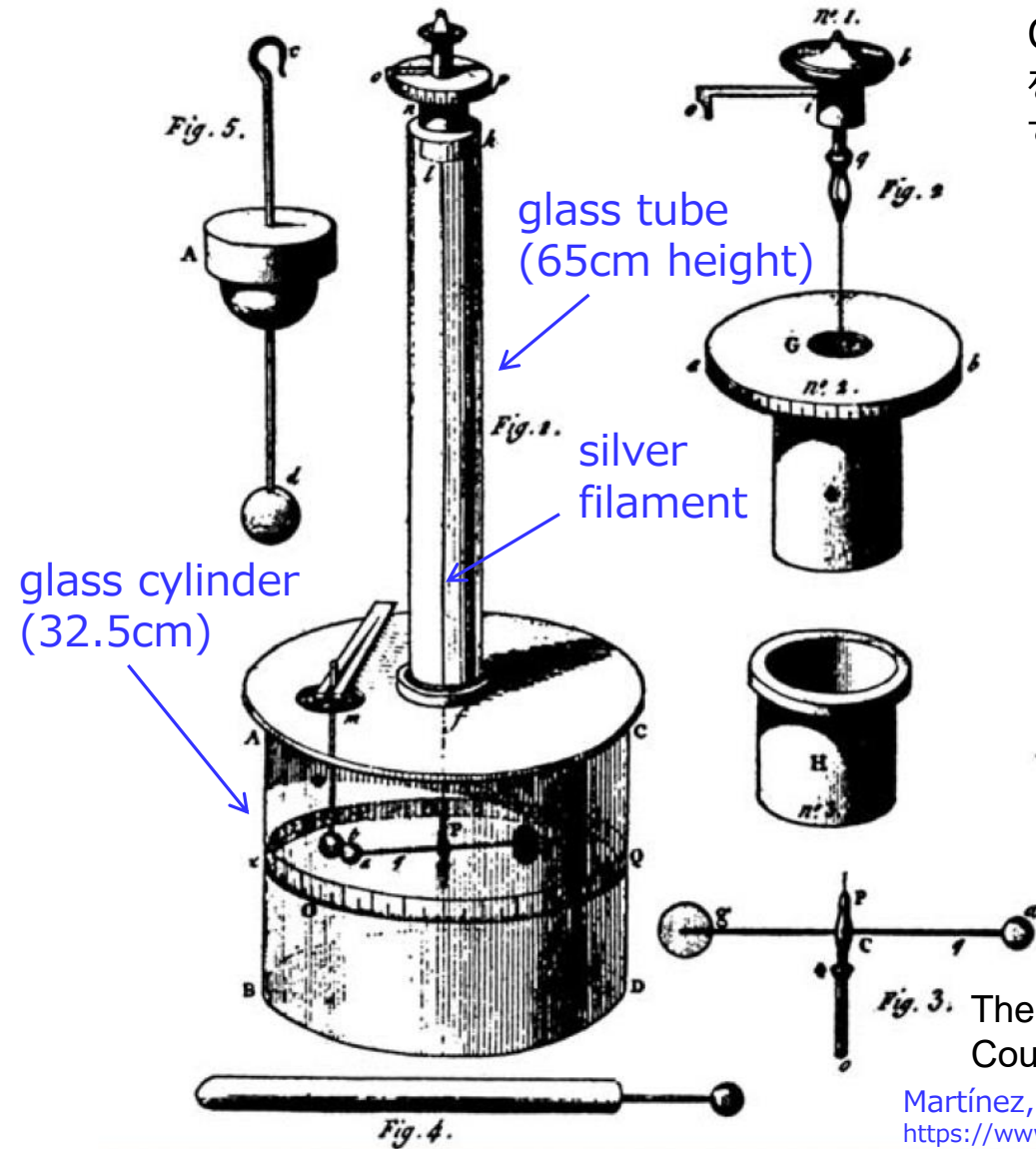
https://s3-ap-southeast-2.amazonaws.com/cheers-client-admin-ckeditor/var/www/cheers_production/admin.cheers.com.au/releases/20180228153214/public/ckeditor_assets/pictures/162/content_201803_kitamura_photo4.jpg



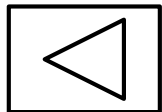
Coulomb's torsion balance(ねじれ秤)

1785

Coulombは1785年、自身の考案したねじれ秤を用い、静電気力が距離の自乗に反比例するとするレポートを発表した。



The left diagram was originally included in Coulomb's memoir (finally published in 1788)



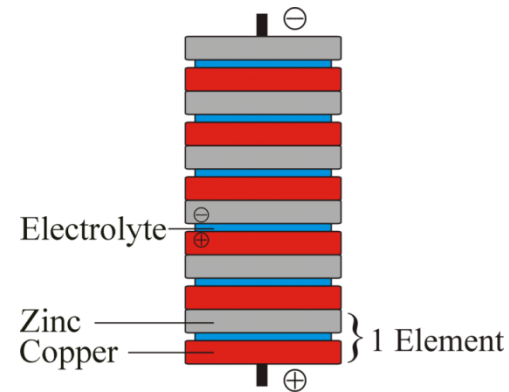
Martínez, "Replication of Coulomb's Torsion Balance Experiment"
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewjgwem84qDIAhWYdd4KHZgaC4UQFjAAegQIARAC&url=https://www.scienzadellecostruzioni.co.uk/2FDocumenti/2FReplication%2520of%2520Coulomb%25E2%2580%2599s%2520Torsion%2520Balance.pdf&usg=AOvVaw0yhxFciQzA57LQxgTnoyD>

ボルタ電池の復元模型

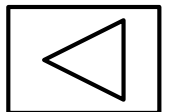


一定の電圧を連続して取り出せるようになったことで、電気に対する人類の理解が一気に進むようになった。必ずしも定説として確立している訳ではないかも知れないがその貢献は、『電気の歴史ここに始まる』と言っても過言ではなからう。左下に引用した資料でも、ボルタ電池の貢献を高く評価していた。

銅と亜鉛を用いたボルタ電池の仕組み



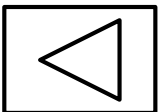
[Wikipedia](#)



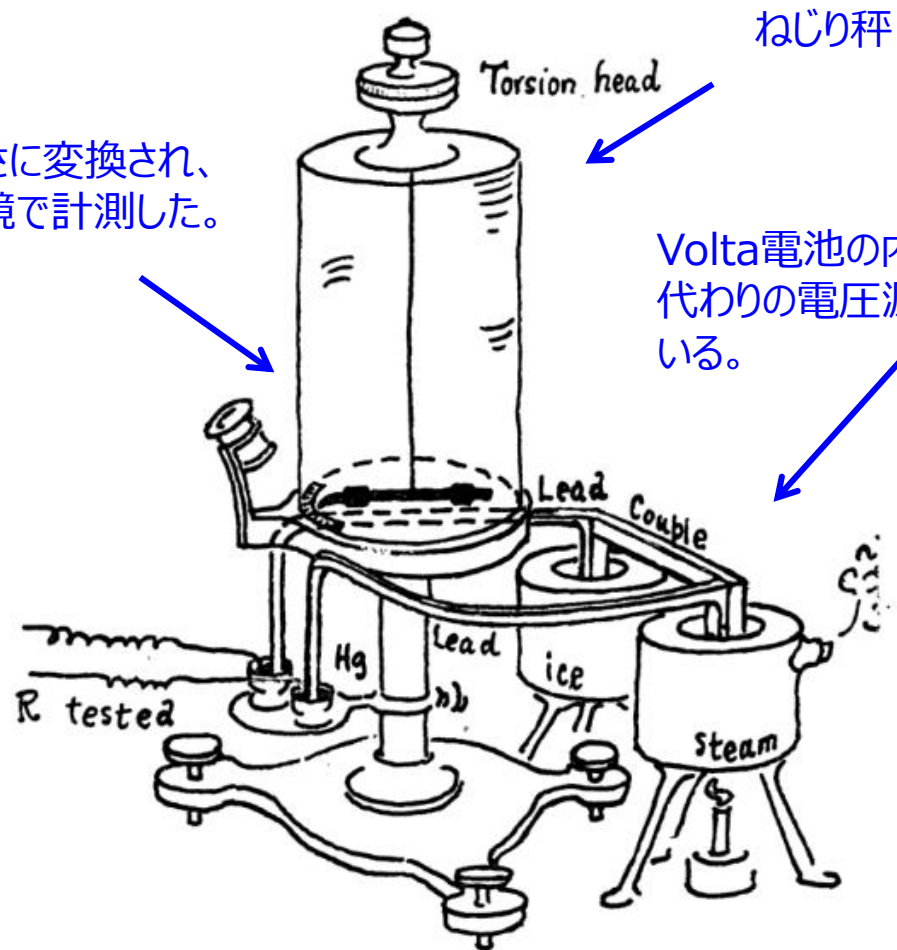


電流が方位磁石を動かすというエルステッド(Øersted)の実験を聞いたアンペールは、直ちに精密な実験に取り掛かり、電流の磁気作用を定式化した。今日Ampere's lawとしてMaxwell方程式の一部となっている法則は、その後Maxwellにより修正された形式で、Ampereが発見した法則と等価ではない。

Franco Maloberti and Anthony C. Davies (Editors)
"A Short History of Circuits and Systems,"
River Publishers, 2016



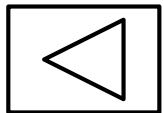
電流は磁界の強さに変換され、そのトルクを顕微鏡で計測した。



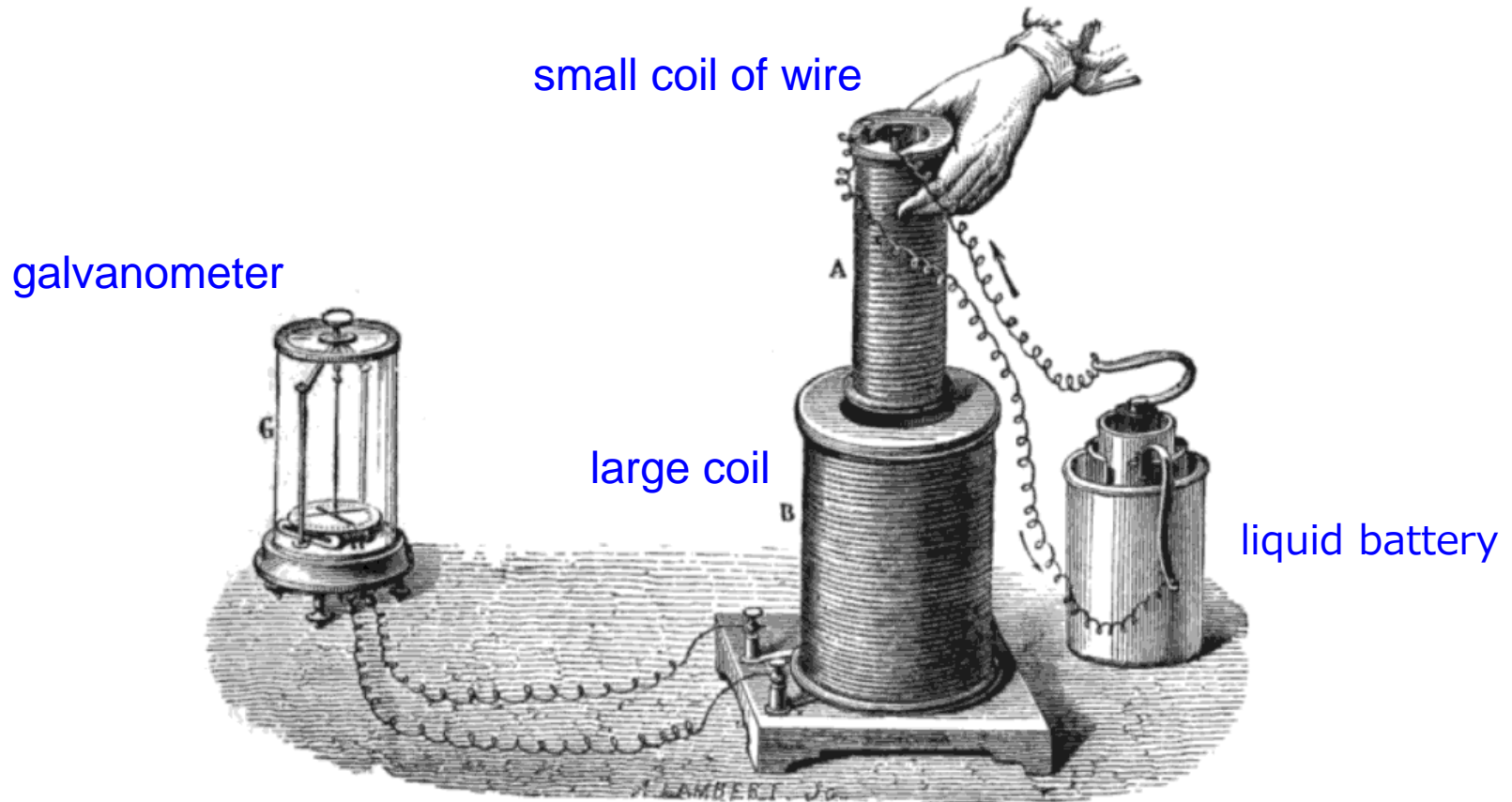
Volta電池の内部抵抗が大きかったので、代わりの電圧源として熱電対が使われている。

Ohm's Torsion Balance and Thermocouple

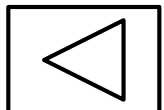
FIG. 3



Ampereの法則に触発されて、磁界が電流を作るのではないかと考えたFaradayだが、いくら強力な磁場を作っても電流は検出されなかった。ある日、実験器具を片づけようとバッテリーを外した瞬間、検流計の針がピクリと動いたことに気が付いた。(出展不明)

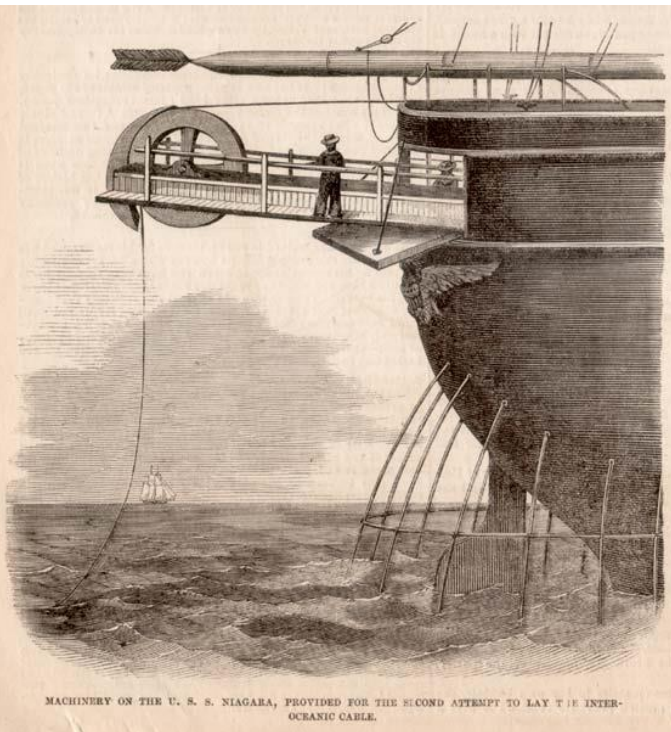


Arthur William Poyser, "Magnetism and Electricity: A Manual for Students in Advanced Classes," Longmans, Green, & Co., New York, p.285, fig.248, 1892



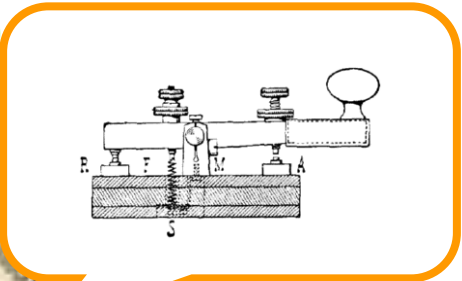
大西洋横断海底ケーブル

1858



大西洋横断海底ケーブルの敷設の試み **U.S.S. Niagara**
<http://www.atlantic-cable.com/Article/1858Leslies/index.htm>

モールス符号は、既に広く使われていた。

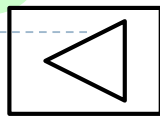


99語/16.5時間

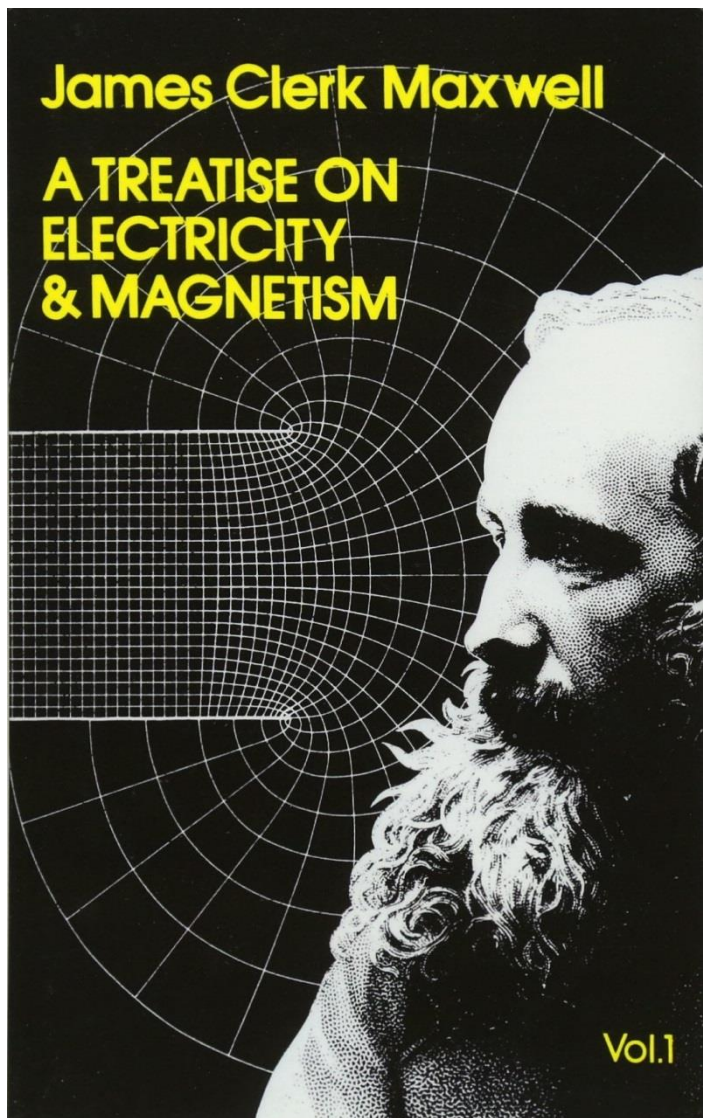


Map showing the position of the cable from London to New York
<http://www.atlantic-cable.com/Cables/1857-58Atlantic/index.htm>

伝送線路の理論は、まだ無かった

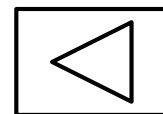


Maxwell電気磁気論考

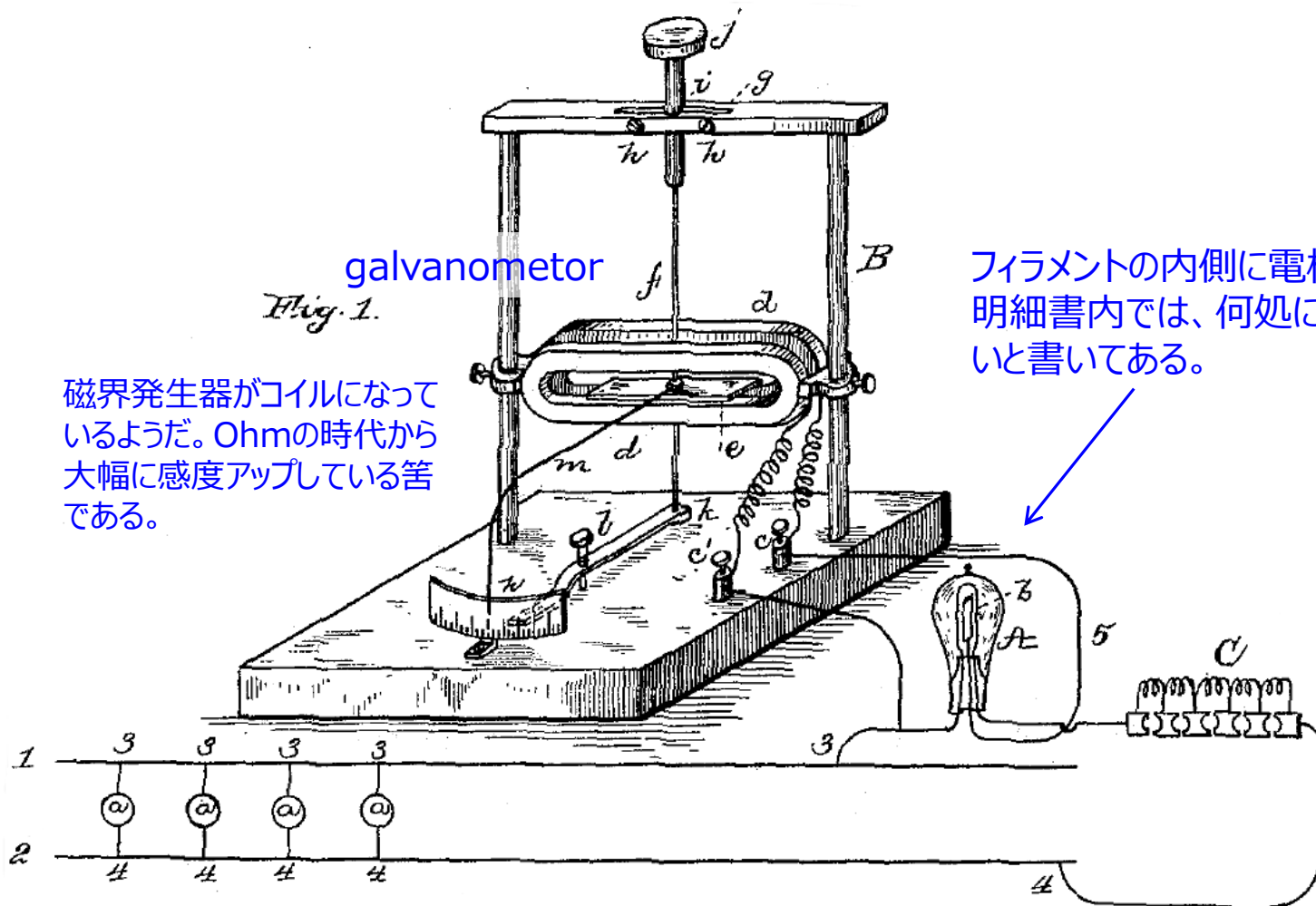


Dover版Vol.1の表紙。文字が橙のVol.2がある。

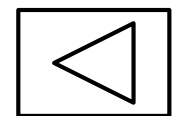
- 1873 初版
- 1879 没。享年48歳
- 1881 第2版。
Maxwellが作業中だった改訂版を
W.D.Nivenが完成させた。
- 1891 第3版。J.J.Thomsonに依る。
Doverから入手できるのはこの版。
序文には、Maxwell以降の進歩を反映
しようとする別の本になってしまうので
断念した旨の記載がある。



電極の整流作用ではなく、発光量に比例する効果を利用したとする発明である。(現象そのものは特許にならない。) 好適にはプラチナ板に正の電圧をかける、との記載があるが図からは読み取れない。実際には動作しなかったそうである。



T. A. Edison, "Electrical Indicator," US Patent No. 307301, Patented Oct. 21, 1884

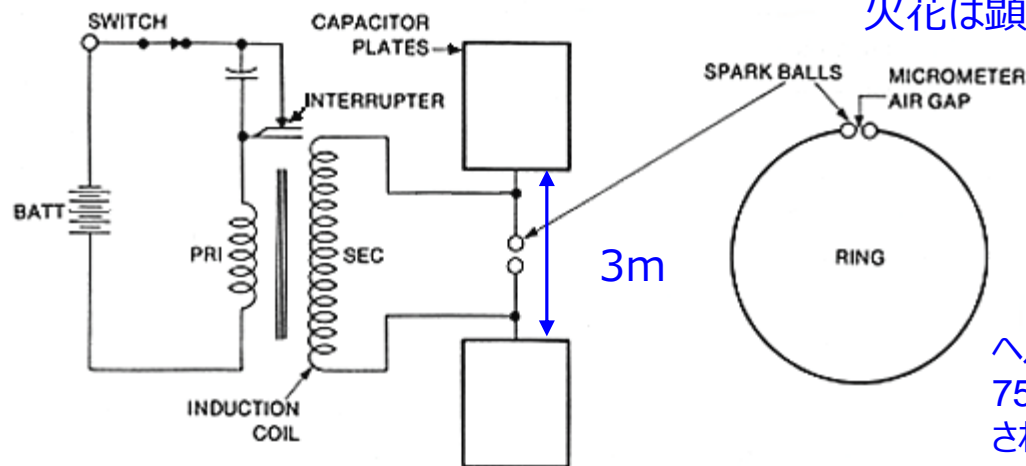


こんな装置で、2mの伝送を確認した

送信側のギャップは3/4cm

火花は顕微鏡で観察した。

実際に用いられたのはライデン瓶で、数万Vをかけていた。



3m

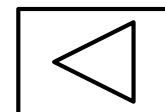
ヘルツの手紙には、一辺75cmの正方形と記載されている。

http://people.seas.harvard.edu/~jones/cscie129/nu_lectures/lecture6/hertz/Hertz_exp.html

両端に直径30cmの金属球

発生周波数は60MHzから500MHzと推定されている

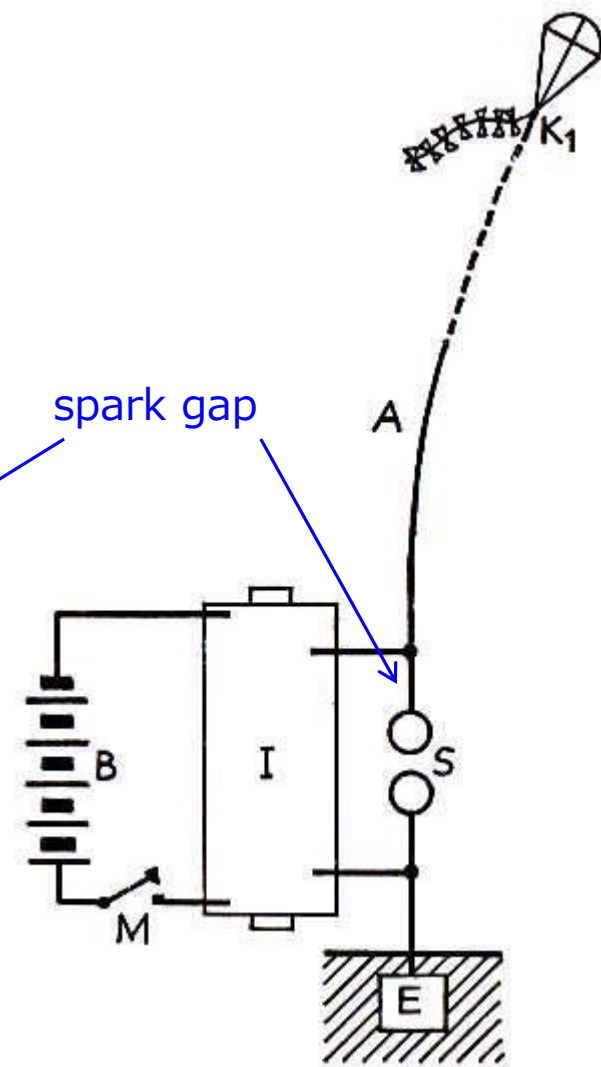
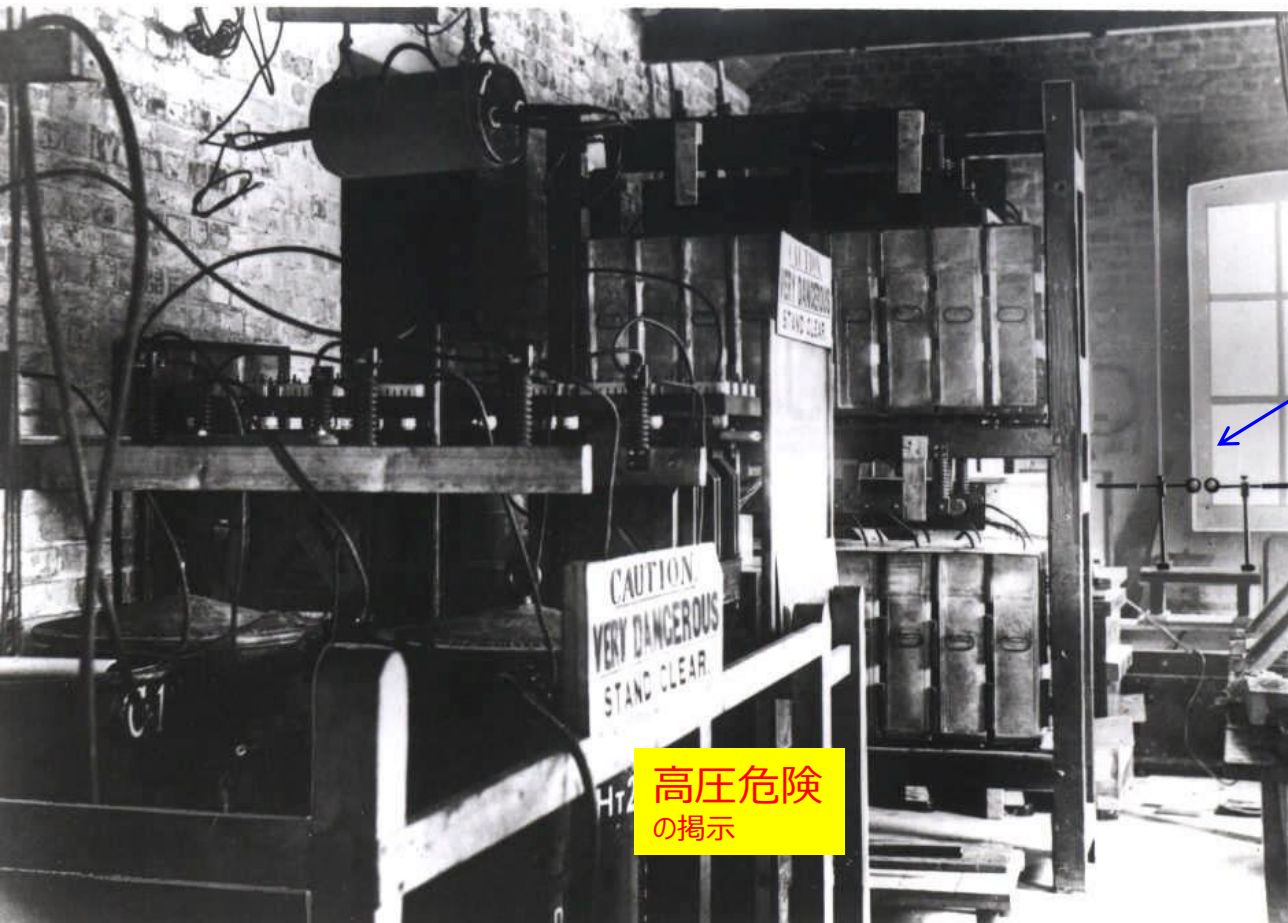
<https://sites.google.com/site/dianbolilunyanjiusaito/home/-5-herutsu>



Marconiの無線送信機

1901

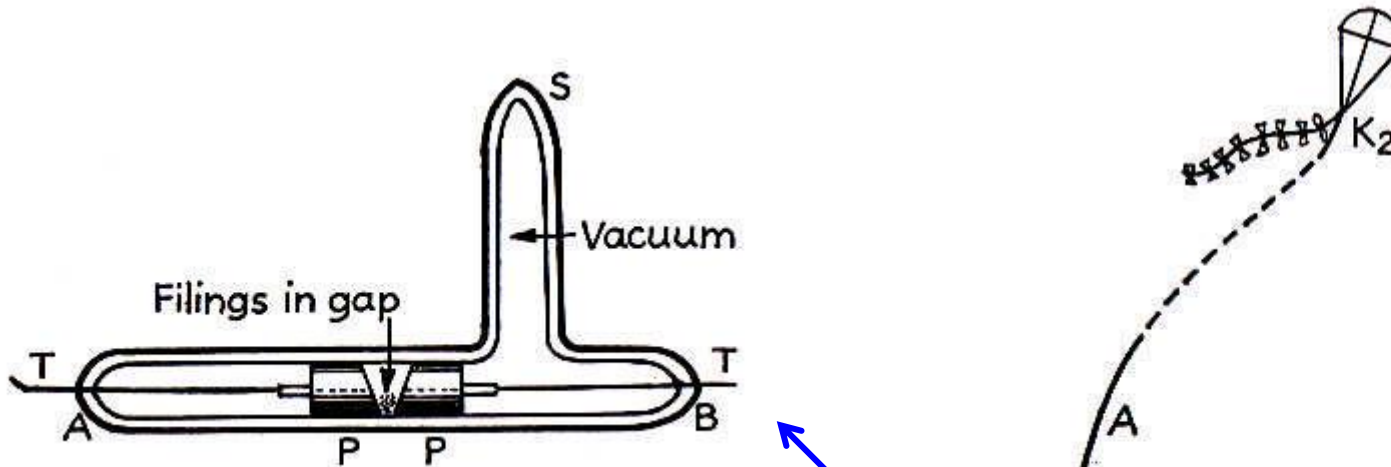
The Marconi Company transmitter at Poldhu, Cornwall, Circa 1901



<http://www.newscotland1398.net/nfld1901/marconi-nfld.html>

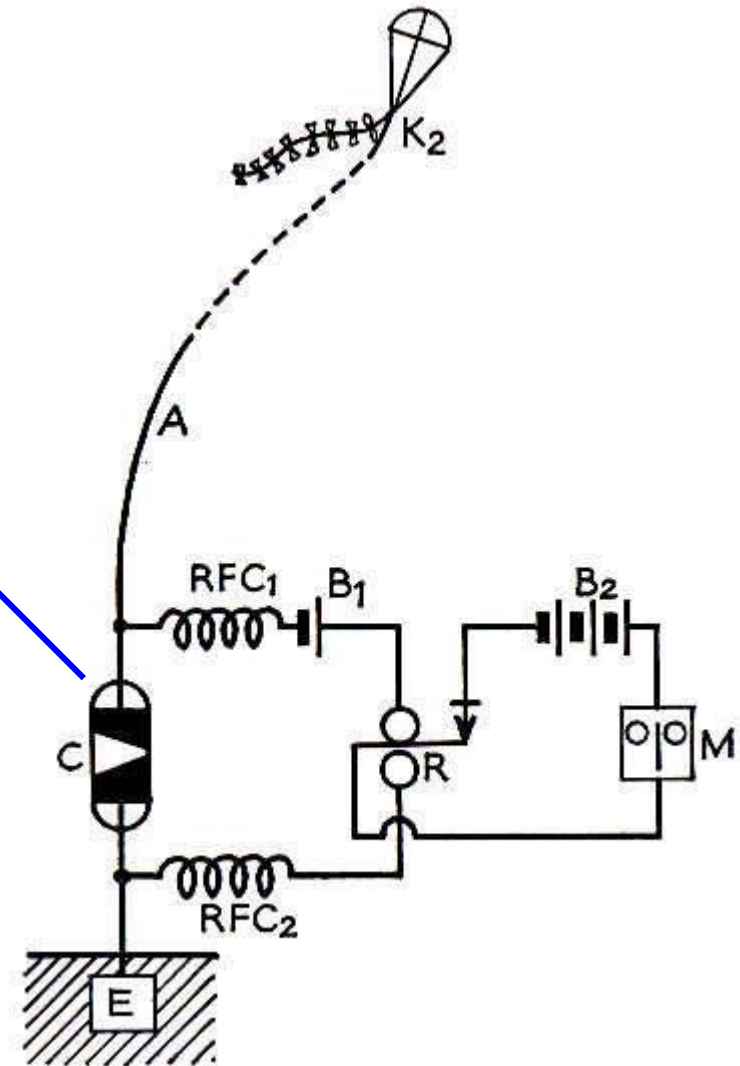
片極が地面になっている。

Marconiの無線受信機



Marconi's version of the coherer. A-B=evacuated glass tube; T-T=platinum terminal wires; P-P=silvered beveled plugs; S=side tube for evacuation.

Adapted from "A History Of The Marconi Company", by W.J. Baker, Methuen (1970).



<http://www.newscotland1398.net/nfld1901/marconi-nfld.html>

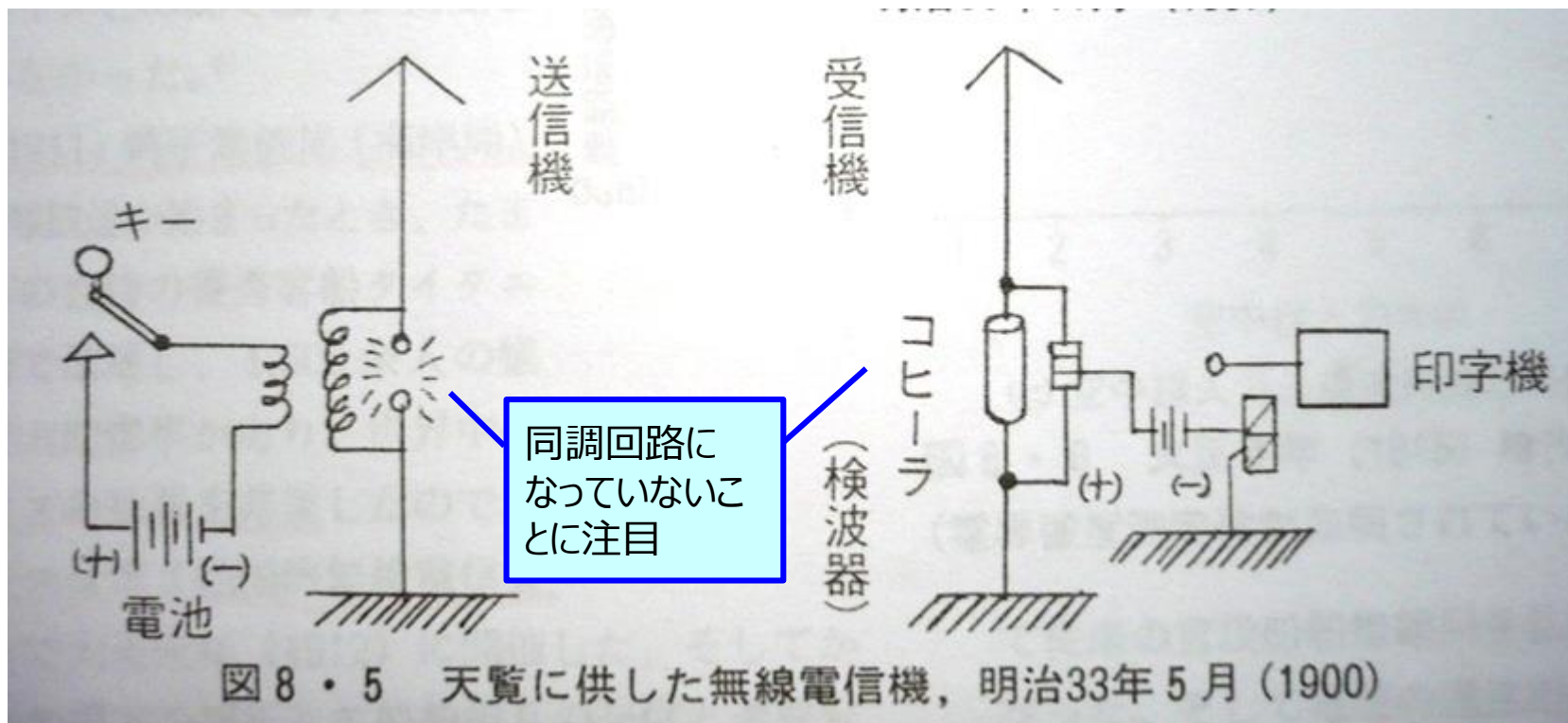
敵艦見ゆ

1905年 日本海海戦(日露戦争)

ロシアのバルチック艦隊発見は無線電信で連絡された。

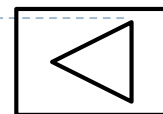
明治36年(1902年)頃、東京芝に逓信学校がありましてね、教室の正面には『電気とは不可思議なるもの也』と書いた額があがっていましたよ。

https://www.google.co.jp/search?source=hp&ei=MpecW9_RJsiR8wXY7Y6wDg&q=%E6%95%B5%E8%89%A6%E8%A6%8B%E3%82%86+%E3%83%A2%E3%83%BC%E3%83%AB%E3%82%B9&oq=%E6%95%B5%E8%89%A6%E8%A6%8B%E3%82%86+%E3%83%A2%E3%83%BC%E3%83%AB%E3%82%B9&gs_l=psy-ab..3..0i30k1.2035.8458.0.9346.15.14.0.0.0.174.1572.0j12.13.0....0...1c.1j4.64.psy-ab..2.12.1532.6..0j35i39k1j0i4k1j0i4i37k1j0i4i30k1j0i13i30k1.110.rlByLqUTkh



日本の商船の電気技術史について (明治以前から第2次世界大戦終了(昭和20年)まで) 第8章

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewimibG3sLzdAhUDfrwKHUNSAkMQFjAAegQIChAC&url=https%3A%2F%2Fwww.jasnaoe.or.jp%2Fzousen-siryokan%2F2013%2F130815-ootani%2Footani-07.pdf&usq=AOVvaw0KQ1C-LigX6oWsRTIfazA>

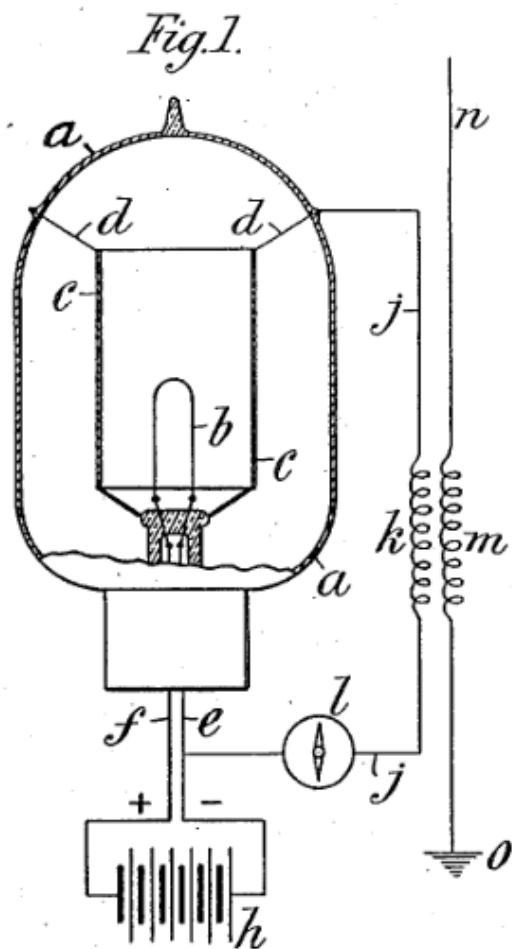


真空管の発明

1905

1907

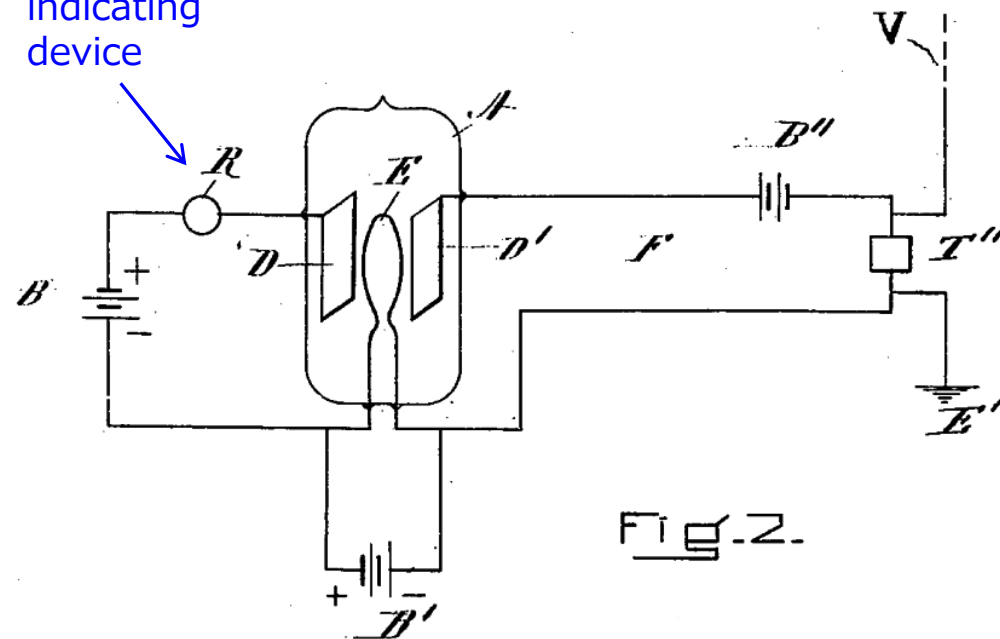
Flemingの2極管



signal
indicating
device

DeForestのAudion

アンテナ



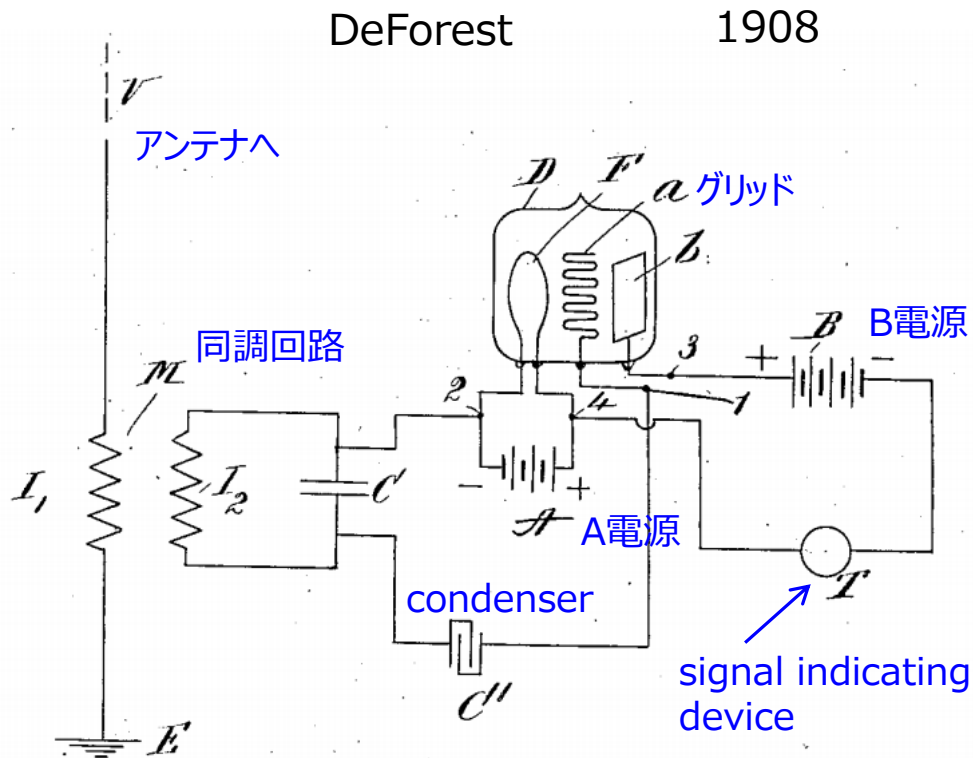
DeForestの発明は、もともとFlemingの特許を回避するために工夫された。プレート検波みたいな動作であろうか。明細書中には増幅するとの記載があるが、3極管とは違い、グリッドがプレートの反対側に配置されている。

発明家DeForestはArmstrongらによって開拓された3極管理論は、最後まで理解できなかったのではないかとされている。

J. A. Fleming, "Instrument for Converting Alternating Electric Currents into Continuous Currents," US Patent Number 803,684, patented Nov. 7, 1905

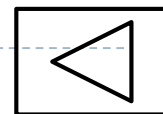
L. De Forest, "Device for Amplifying Feeble Electrical Currents," US Patent No. 841,387, patented Jan. 15, 1907

三極管の発明

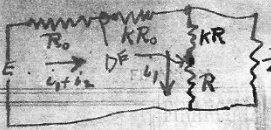


先発明のAudionに対し、グリッドの配置と形状が改良されている。試行錯誤によりDeForestは、グリッド配線にコンデンサを入れると感度が上がることを発見した。しかし(後に常識となる)バイアスと言う概念は認識されていない。

L. De Forest, "Space Telegraphy," US Patent No. 879,532, patented Feb. 18, 1908



THE NEW YORK TIMES SATURDAY, AUGUST 6, 1927.



$$\Delta E = (i_1 + i_2)KR_0 + i_1KR$$

$$\Delta E = K[i_1(R_0 + R) + i_2R_0]$$

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{K}{K+1}$$

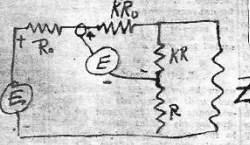
$$\frac{\delta E}{E} = \frac{K}{1+K} = 1 + \frac{.5/25}{20/10}$$

$$\frac{E}{\delta E} = [1 + \frac{1}{K}]$$

$$\mu = 1 + \frac{1}{K}$$

$$\frac{1}{K} = \mu - 1$$

$$K = \frac{1}{\mu - 1}$$

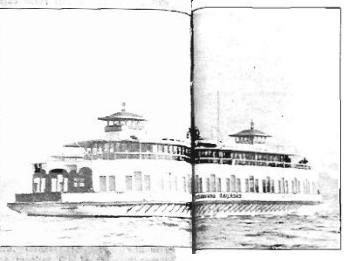
$$K = \frac{1}{1.5}$$


11-25
E.C. Blessing
E.C.B.

Disclosed in principle
to E.C. Blessing Aug 6, 1927

H.S. Black Aug 18, 1927

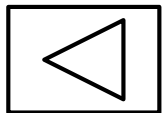
Witnessed and Understood
E.C. Blessing
Aug 18, 1927



1927年8月6日、通勤のためいつものようにHadson側を渡る船に乗っていたBlackは、ずっと考えていたアンプのゲインバラつきを抑える方法を思いついた。その時に手元にあった新聞紙(New York Times)にアイデアを記したのが、左図である。

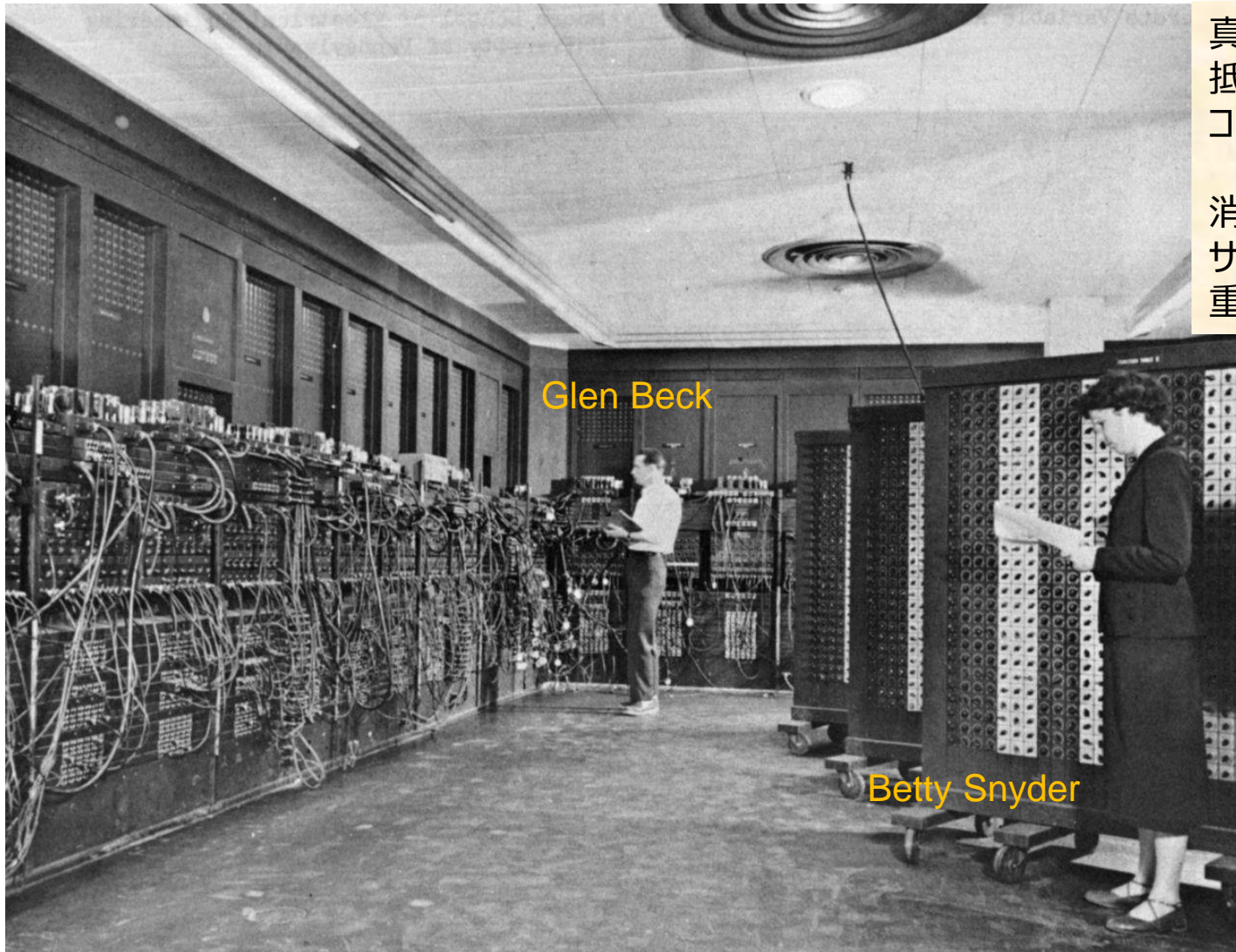
帰還のアイデアは当時すでに知られていて、回路を不安定にすると考えられていた。そのため『負』帰還が直ちに受け入れられた訳ではない。Bell研の同僚であるBodeやNyquistなどによる理論解析や普及に対する努力により、安定条件が理解され、次第に広く受け入れられるようになった。

<http://techchannel.att.com/play-video.cfm/2012/6/27/AT&T-Archives-Negative-Feedback-Amplifier>
なども参考になるかもしれない。



ENIAC

1946

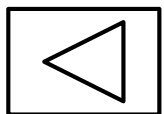


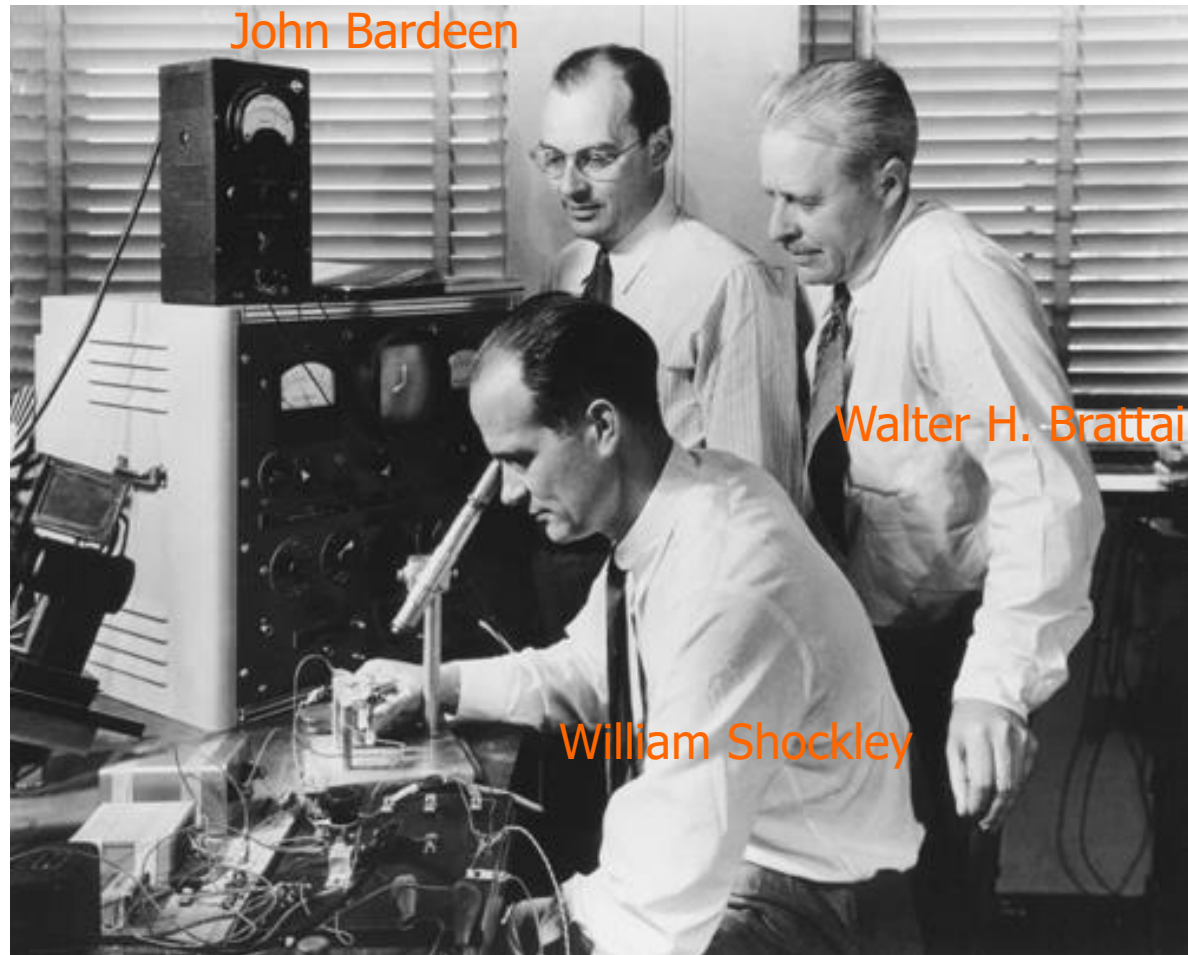
真空管 17,468 本
抵抗 70k 個
コンデンサ 10k 個

消費電力 150 kW
サイズ 24m 0.9m 2.5m
重量 30 t

当初より故障率が懸念されていたが、真空管が週に2〜3本壊れる程度で、稼働率は90%を超えていた。

U.S. Army Photo





John Bardeen

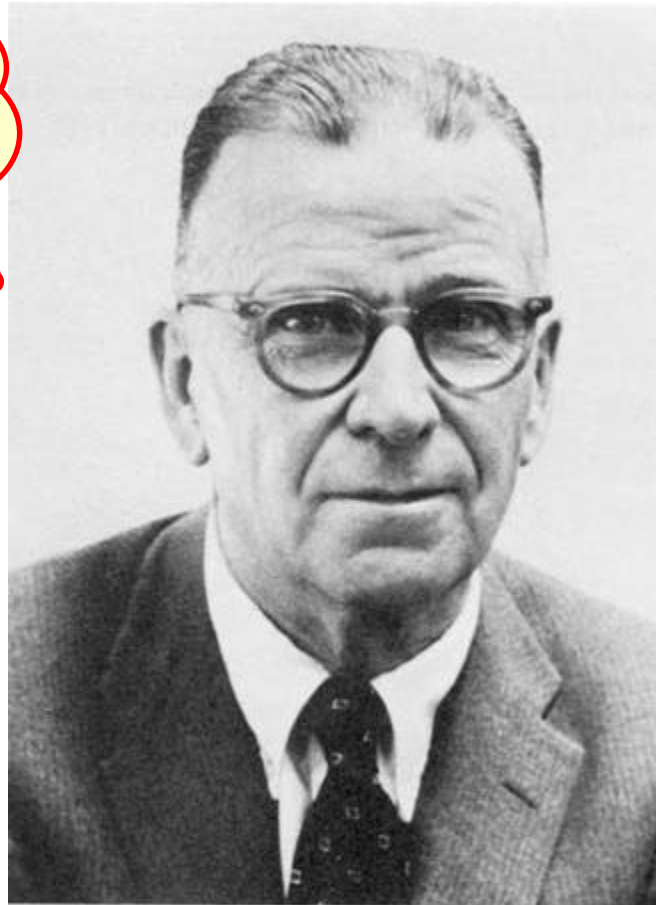
Walter H. Brattain

William Shockley

<http://www.computerhistory.org/collections/accession/102618866>

トランジスタの祖父

10年間成果の出
ないShockleyを
支え続けた。

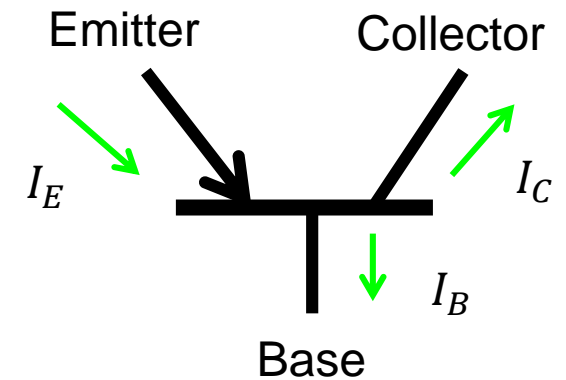
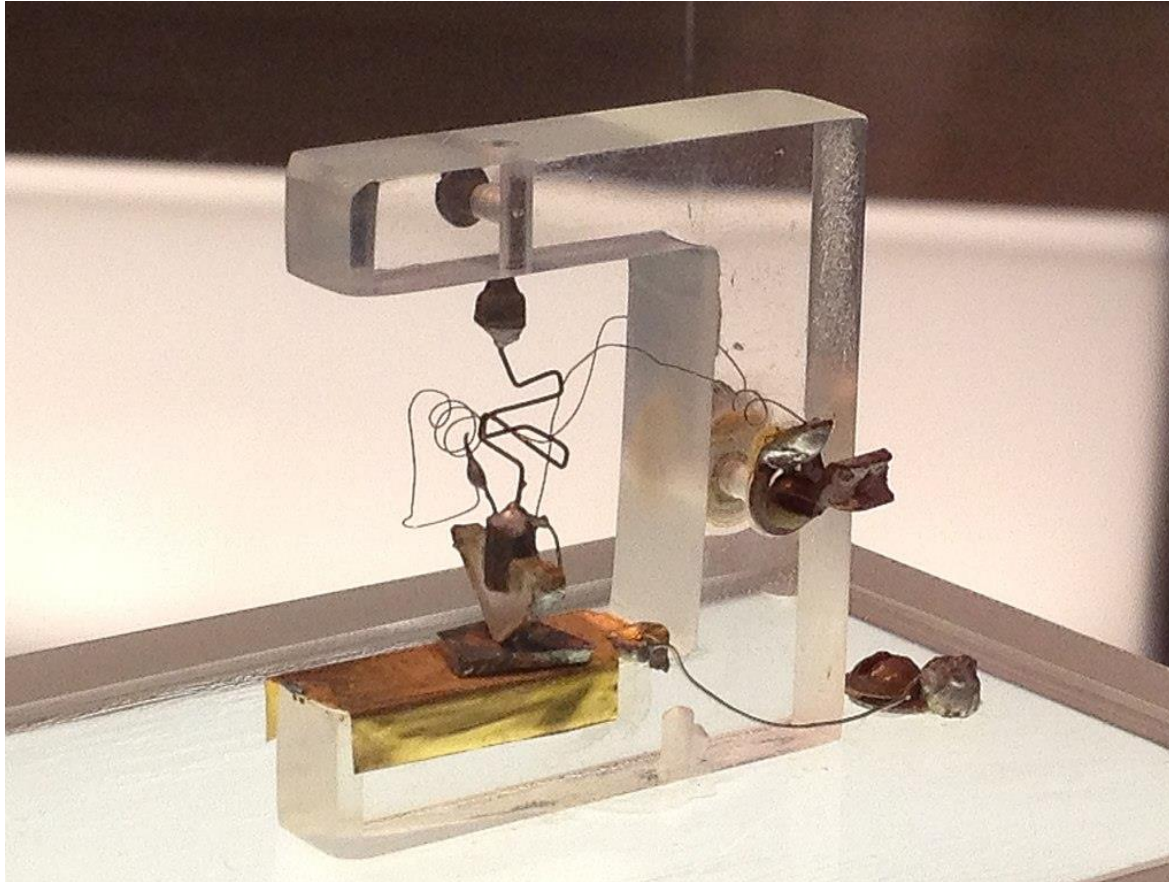


Mervin Joe Kelly (1894-1971)

<http://books.nap.edu/html/biomems/mkelly.pdf>

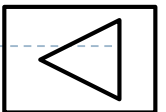
最初のトランジスタ

1947年に発明された最初のトランジスタ（実物）

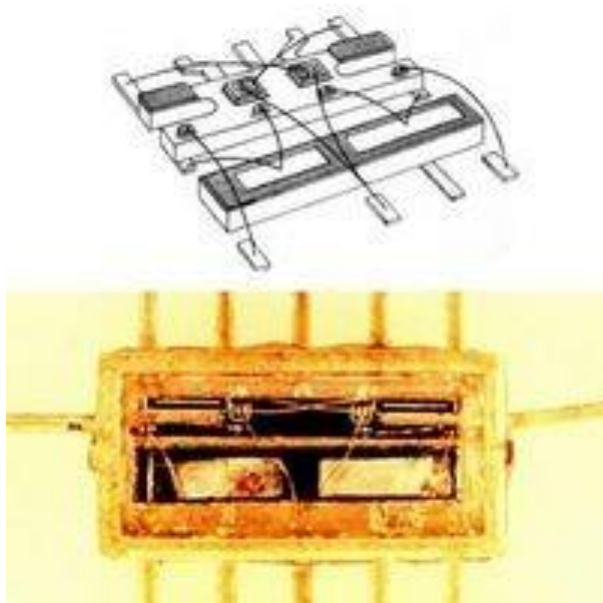


I_B の β 倍が I_C になるという
電流増幅素子である。

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%88%E3%83%A9%E3%83%B3%E3%82%B8%E3%82%B9%E3%82%BF#/media/%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:1st-Transistor.jpg>



ICの発明



Texas Instruments
Type 502 Bistable Multivibrator Solid
Circuit (1960)

Jack Kilbyの発明は、個別チップを金線で接続するというものであった。



Fairchild Semiconductor Type
“F” flip-flop (1960)

Robert Noyceは、Fairchildで開発されたばかりのプレーナー技術を用いて、分離された素子ばかりでなく、配線も一つのダイに作り上げることを発明した。これが、現在につながるIC技術の源流である。

<https://www.computerhistory.org/atcm/who-invented-the-ic/>

