



ミュージアム x ライブラリ 連続トークイベント

グローバル化する通信～腕木から5Gへ～

第1回

電気通信の夜明け～電信と火花～

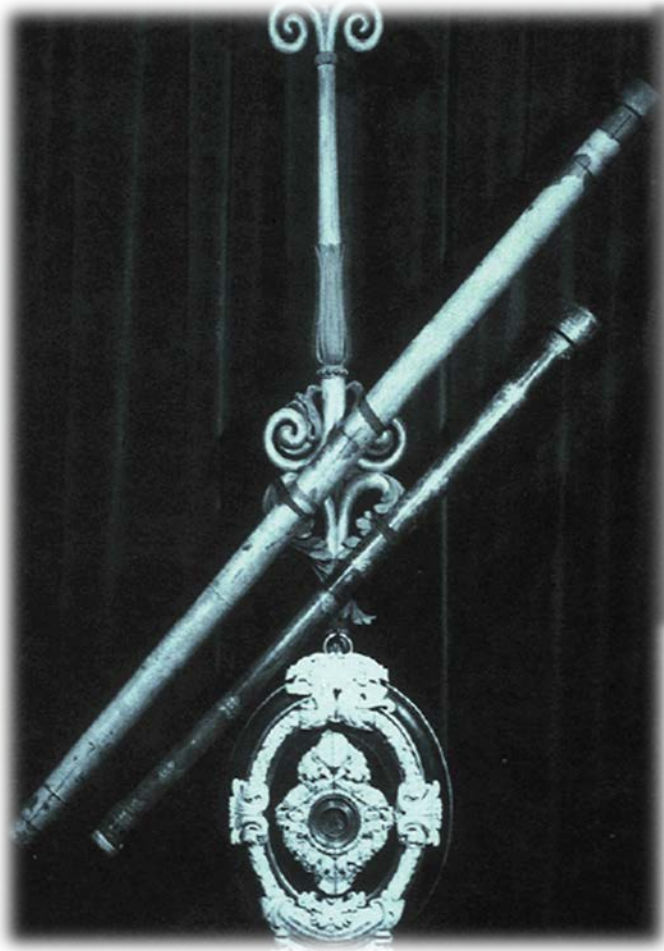


2019年11月7日（木）於アゴラ

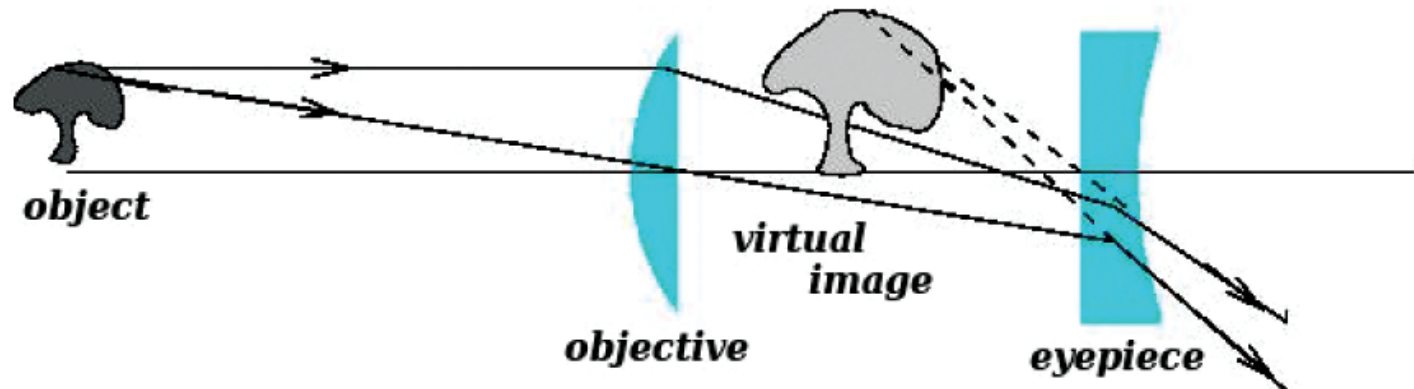
「電気通信」技術発展の時代背景

時代	出来事	
14世紀	イタリアの小規模都市国家群からルネサンス始まる	火薬、活版印刷、羅針盤
15世紀	大航海時代	コロンバス、アメリカ大陸に達する
16世紀	ドイツでルターの宗教改革始まる	ドイツ農民戦争
17世紀	イギリス・ヨーロッパ大陸の戦乱	30年戦争、ピューリタン革命、名誉革命 スペインの衰退とイギリス・オランダの勃興
18世紀	フランス革命、アメリカ独立	自由・平等・博愛、国富論
18～19世紀	ナポレオン帝政とその敗北	ヨーロッパ大陸に(軍事)通信網の発達、 対スペイン、対フランス戦争に勝利したイギリスに植民地経営の利益が集積、産業革命の引き金となる、ワット蒸気機関
	イギリス、第一次産業革命、その後、ドイツ・アメリカを中心に第二次産業革命始まる	石炭利用と蒸気機関、手工業から機械生産(マルクス資本論) 化学技術やエネルギーの革新、工場での大量生産

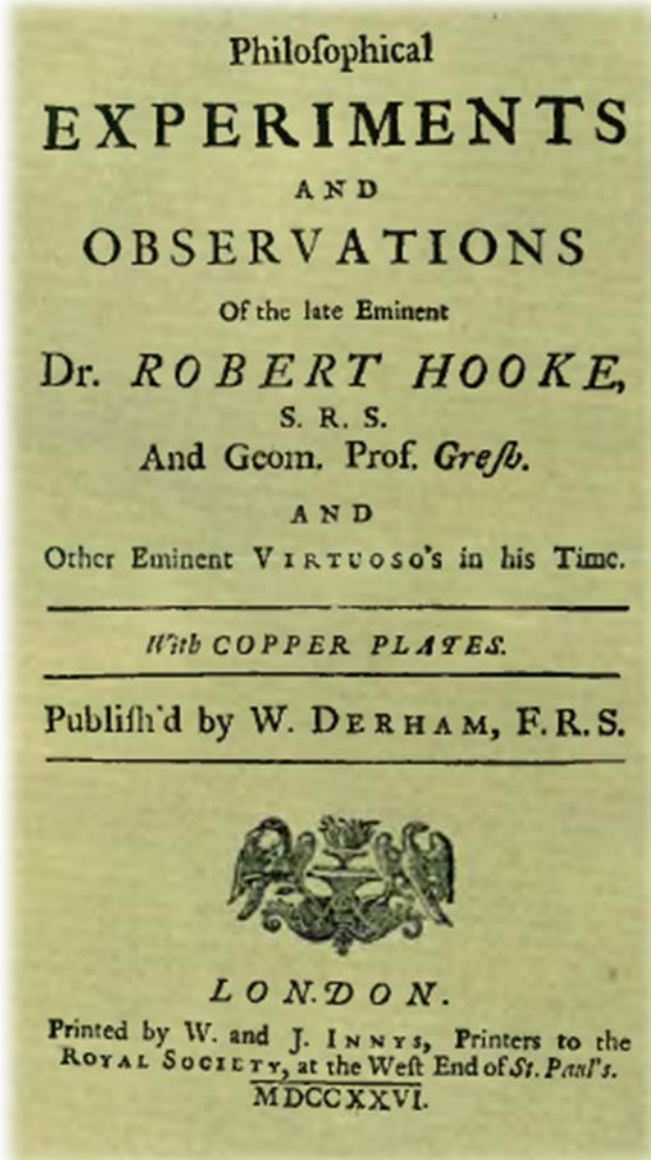
「電気通信」前史: 人間の視覚能力の拡張



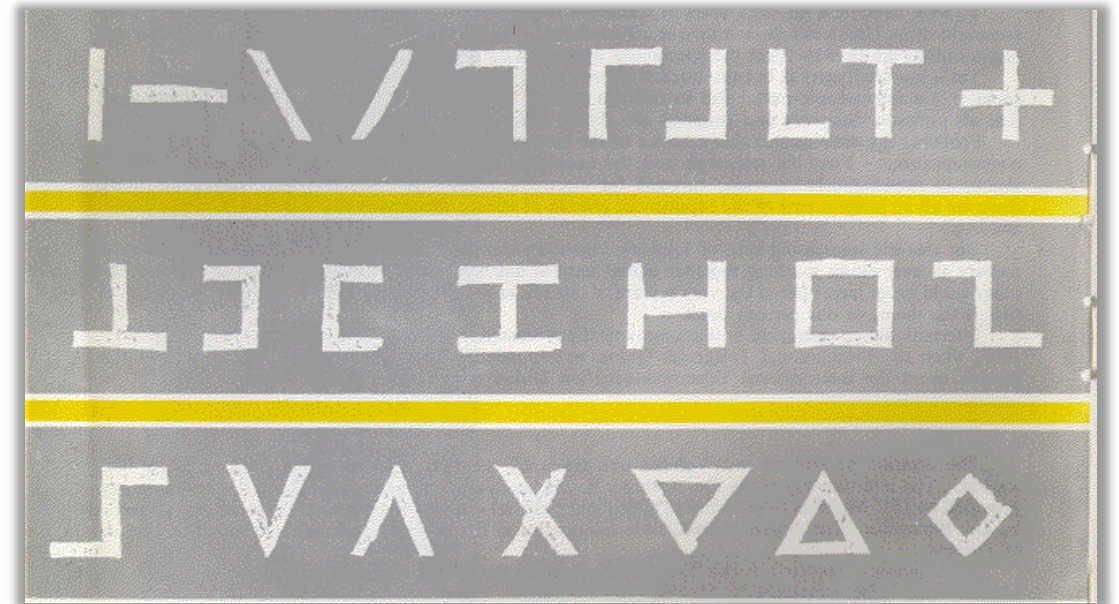
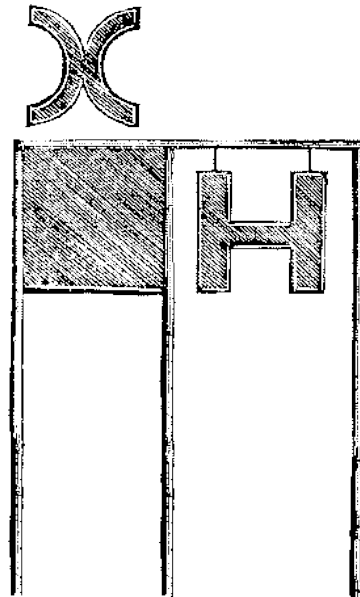
年	内容
1608	オランダの眼鏡職人ハンス・リッペルハイ、「 あたかも近くにあるごとく、遠くのものを見る器械 」の特許を申請(筒長50cm、直径3~4cm、倍率3~4倍の屈折望遠鏡)。その後、計器職人ヤコブ・メティウスとザカリウス・ヤンセンも同様の器械を作ったと主張しているが、特許を申請していない。ハーグの地域議会(Estate General)は後者の主張を受けてリッペルハイの特許を認めていないが、リッペルハイにいくつかの装置を作るよう依頼している。
1609	ガリレオ・ガリレイ 、望遠鏡を自作して天体観測に活用。工夫を凝らして倍率を12倍に。



「電気通信」前史: Robert Hooke のアイデア



年	内容
1684	1726年に出版された本の中に、ロバート・フックが1684年5月21日に王立協会で“A way how to communicate one’s mind at great distances” と題して行った講演の内容が記述されている。文字と符号を木枠につるした「視覚通信 Optical communication」だが、実用には供されなかったようだ。 “Philosophical Experiments and Observations of the late eminent Dr. Robert Hooke, published by W. Derham in 1726”



図の引用 “From semaphore to satellite” ITU, p. 6 and 8 (1965, Geneva).

「電気通信」前史：匿名の提案

Feb. 1753. *An expeditious method of conveying intelligence*

and am now here to join my intreaties with his, that you may be happy for ever."

To relate all that was said upon this occasion, would be to extend my story to another paper. Wilson was all submission and acknowledgment; the wife cried and doubted, and the widow vowed an eternal separation. To be as short as possible, the harmony of the married couple was fixed from that day. The widow was handsomely provided for, and her child, at the request of Mrs Wilson, taken home to her own house; where at the end of a year she was so happy, after all her distresses, as to present him with a sister, with whom he is to divide his father's fortune. His mother retired into the country; and two years after, was married to a gentleman of great worth; to whom, on his first proposals to her, she related every circumstance of her story. The boy pays her a visit every year, and is now with his sister upon one of these visits. Mr Wilson is perfectly happy in his wife; and has sent me, in his own hand, this moral to his story:

"That though prudence and generosity may not always be sufficient to hold the heart of a husband, yet a constant performance in them will, one time or other, most certainly succeed."

To the author of the SCOTS MAGAZINE.

S I R, Renfrew, Feb. 1. 1753.

IT is well known to all who are conversant in electrical experiments, that the electric power may be propagated along a small wire, from one place to another, without being sensibly abated by the length of its progress. Let then a set of wires, equal in number to the letters of the alphabet, be extended horizontally between two given places, parallel to one another, and each of them about an inch distant from that next to it. At every twenty yards end, let them be fixed in glass, or jeweller's cement, to some firm body, both to prevent them from touching the earth or any other non-electric, and from breaking by their own gravity. Let the electric gun-barrel be placed at right angles with the

extremities of the wires, and about an inch below them. Also let the wires be fixed in a solid piece of glass, at six inches from the end; and let that part of them which reaches from the glass to the machine, have sufficient spring and stiffness to recover its situation after having been brought in contact with the barrel. Close by the supporting glass, let a ball be suspended from every wire; and about a sixth or an eighth of an inch below the balls, place the letters of the alphabet, marked on bits of paper, or any other substance that may be light enough to rise to the electrified ball; and at the same time let it be so contrived, that each of them may realume its proper place when dropt. All things constructed as above, and the minute previously fixed, I begin the conversation with my distant friend in this manner. Having set the electrical machine a-going as in ordinary experiments, suppose I am to pronounce the word *Sir*; with a piece of glass, or any other electric *per se*, I strike the wire *S*, so as to bring it in contact with the barrel, then *i*, then *r*, all in the same way; and my correspondent, almost in the same instant, observes these several characters rise in order to the electrified balls at his end of the wires. Thus I spell away as long as I think fit; and my correspondent, for the sake of memory, writes the characters as they rise, and may join and read them afterwards as often as he inclines. Upon a signal given, or from choice, I stop the machine; and taking up the pen in my turn, I write down whatever my friend at the other end strikes out.

If any body should think this way tiresome, let him, instead of the balls, suspend a range of bells from the roof, equal in number to the letters of the alphabet; gradually decreasing in size from the bell *A* to *Z*: and from the horizontal wires, let there be another set reaching to the several bells; one, *viz.* from the horizontal wire *A* to the bell *A*, another from the horizontal wire *B* to the bell *B*, &c. Then let him who begins the discourse bring the wires in contact with the barrel, as before; and the electrical spark, breaking on bells of dif-

PROLOGUE to the GAMSTER; a new tragedy.

ferent size, will inform his correspondent by the sound, what wires have been touched. And thus, by some practice, they may come to understand the language of the chimes in whole words, without being put to the trouble of noting down every letter.

The same thing may be otherwise effected. Let the balls be suspended over the characters as before, but instead of bringing the ends of the horizontal wires in contact with the barrel, let a second set reach from the electrified cake, so as to be in contact with the horizontal ones; and let it be so contrived at the same time, that any of them may be removed from its corresponding horizontal by the slightest touch, and may bring itself again in contact when left at liberty. This may be done by the help of a small spring and slider, or twenty other methods, which the least ingenuity will discover. In this way, the characters will always adhere to the balls, excepting when any one of the secondaries is removed from contact with its horizontal; and then the letter at the other end of the horizontal will immediately drop from its ball. But I mention this only by way of variety.

Some may perhaps think, that although the electric fire has not been observed to diminish sensibly in its progress through any length of wire that has been tried hitherto; yet as that has never exceeded some thirty or forty yards, it may be reasonably supposed, that in a far greater length it would be remarkably diminished, and probably would be entirely drained off in a few miles by the surrounding air. To prevent the objection, and save longer argument, lay over the wires from one end to the other with a thin coat of jeweller's cement. This may be done for a trifle of additional expence; and as it is an electric *per se*, will effectually secure any part of the fire from mixing with the atmosphere. — I am, &c.

C. M.

PLAIN TRUTH. A new song.

THE man who seeks to win the fair,
So custom says, must truth forbear;
Must fawn and flatter, cringe and lye,
And praise the goddess to the sky.

For truth is hateful to her ear,
A rudeness which she cannot bear;
A rudeness, yes, I speak my thoughts,
For truth upbraids her with her faults.

How wretched, *Chloe*, then am I,
Who love you and yet cannot lye?
And still to make you less my friend,
I strive your errors to amend.

PROLOGUE to the GAMSTER; a new tragedy.

Written and spoken by Mr Garrick.

LIKE fam'd *La Mancha's* knight, who, lance
in hand,
Mounted his steed to free th' enchanted land,
Our *Quixote* bard sets forth a monster-taming,
Arm'd at all points, to fight that hydra—*Gaming*.
Aloft on *Pegasus* he waves his pen,
And hurls defiance at the cauld's den.
The first on fancy'd giants spent his rage,
But this has more than windmills to engage.
He combats passion, rooted in the soul,
Whose powers at once delight ye and controul;
Whose magic bondage each lost slave enjoys,
Nor wishes freedom, though the spell destroys.
To save our land from this *Magician's* charms,
And rescue maids and matrons from his arms,
Our knight poetic comes—And Oh! ye fair!
This black *inchanter's* wicked arts beware!
His subtle poison dims the brightest eyes,
And at its touch each grace and beauty dies.
Love, gentleness, and joy, to rage give way,
And the soft dove becomes a bird of prey.
May this our bold advent'ur break the spell,
And drive the demon to his native hell.

Ye slaves of passion, and ye dupes of chance,
Wake all your powers from this destructive trance!
Shake off the shackles of this tyrant vice:
Hear other calls than those of cards and dice,
Be learn'd in nobler arts, than arts of play,
And other debts than those of honour pay.
No longer live insensible to shame,
Lost to your country, families, and fame.
Could our romantic muse this work achieve,
Would't there one honest heart in *Britannia* grieve?
Th' attempt, tho' wild, would not in vain be made,
If ev'ry honest hand wou'd lend its aid.

EPILOGUE.

Written by a friend, and spoken by Mrs Pritchard.

ON ev'ry gameller in th' *Arabian* nation,
'Tis said that *Mahomet* denounc'd damnation
in return for wicked cards and dice, (tison);
He gave them black-ey'd girls in paradise,
Should he thus preach, good countrymen, to you,
His converts would, I fear, be mighty few.
So much your hearts are set on *lordly* gain,
The brightest eyes around you shine in vain,
Shew'd the most heavenly beauty bid you take her,
You'd rather hold—two aces and a maker,
By your example, our poor sex draw in,
Is guilty of the same unnatural sin;

年

内容

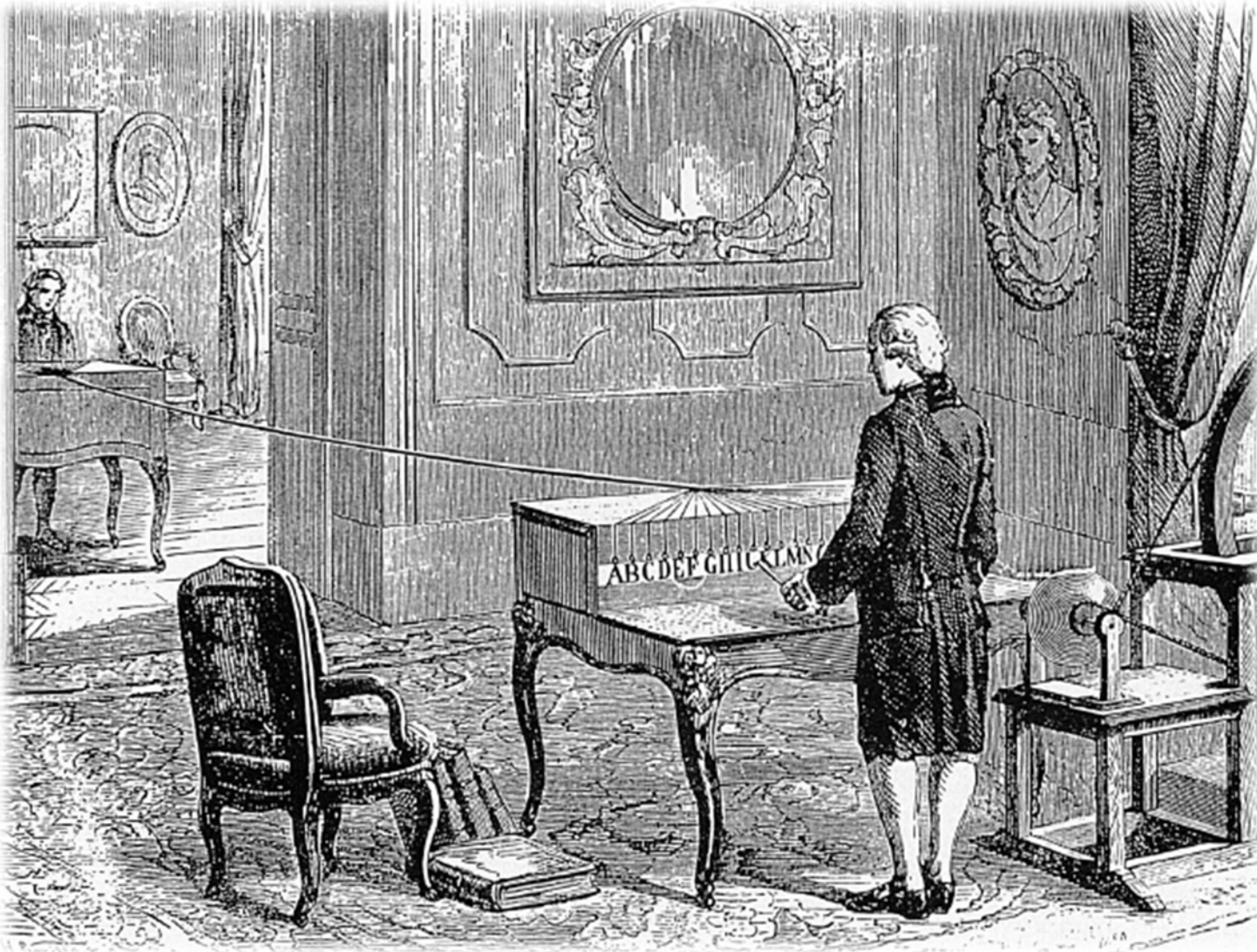
1753

“Scots' Magazine” という雑誌の第15巻73ページに、匿名でC.M*と名乗る読者からの奇妙な投稿が掲載された。この時期、静電気をライデン瓶にためられることがようやくわかった時代で、まだ、ガルバニ電池すら知られておらず、電流や電磁現象も未だ知られていなかった時代である。

2人の友人間で通信するのに、1文字あたり1本の電線を這わせ、それぞれの末端にボールを吊るし、その下に紙を置いて文字を書きしておく。送り手は、送りたい文字の順に電線を静電気発生器に接触させる。受け手は、ボールに引き寄せられる紙に書かれた文字を書きとっていく。

*Charles Morrison of Renfrew, Scotland という人らしい

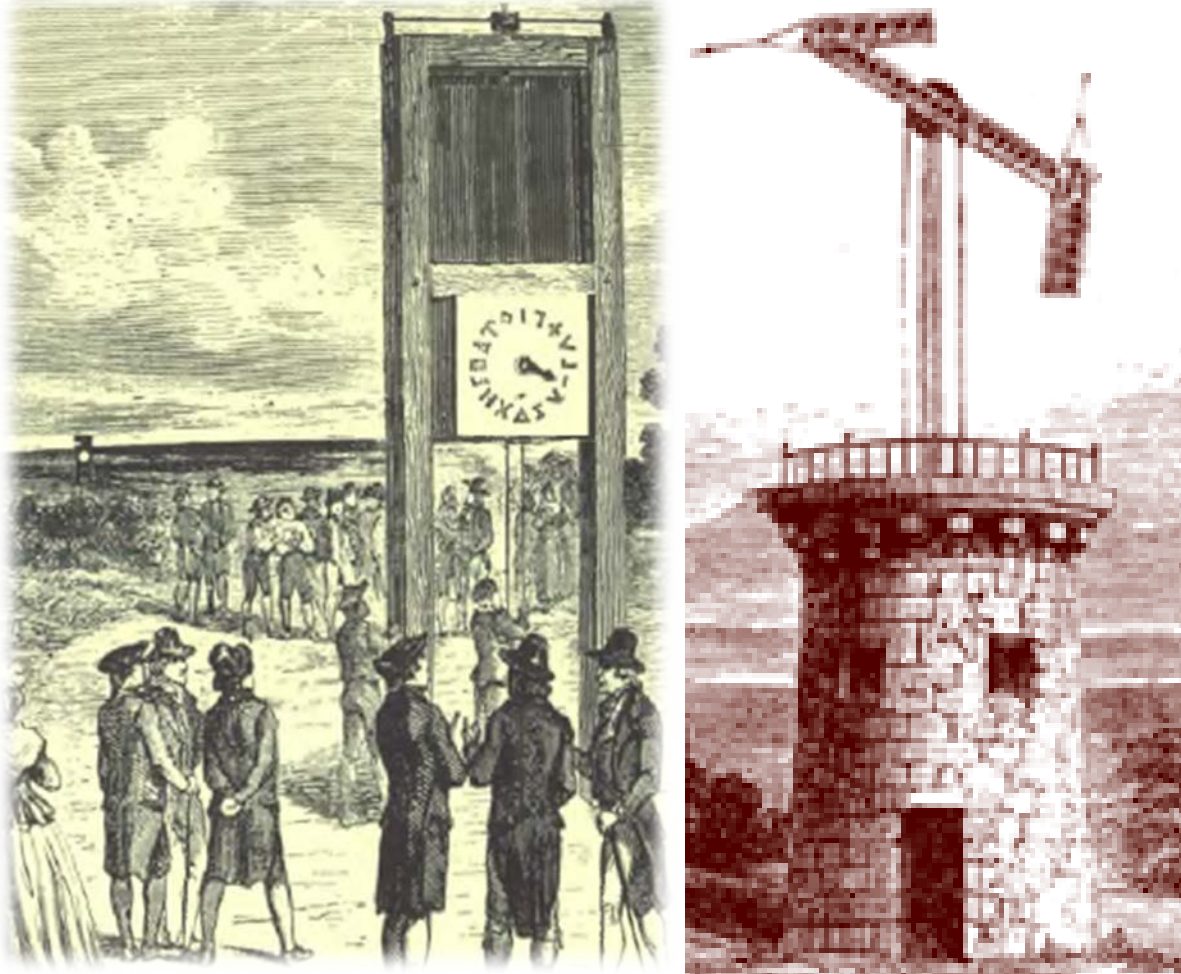
「電気通信」前史:「空間多重」静電気通信



年	内容
1774	<p>ジョルジュ・ルイルサーージュ(スイスの物理学者、重力理論で著名)、静電気を利用した通信を提案。自宅で実演。</p> <p>24本の電線(ネット上には26本と書いてある情報もある)を互いに絶縁し、それぞれに文字を対応させ、電線の受け手側の末端に絹糸でpith-ballを垂らす。</p> <p>送り手側が電線の末端を静電気発生器に接触すると、受け手側のpith-ballが反応し、どの文字が送られたのかがわかる。</p>

説明文は“History, Theory, and Practice of the Electric Telegraph”, George B. Prescott, 4th ed., p.6, Ticknor & Fields (1866) を引用

「電気通信」前史: Claude Chappe の機械式腕木通信

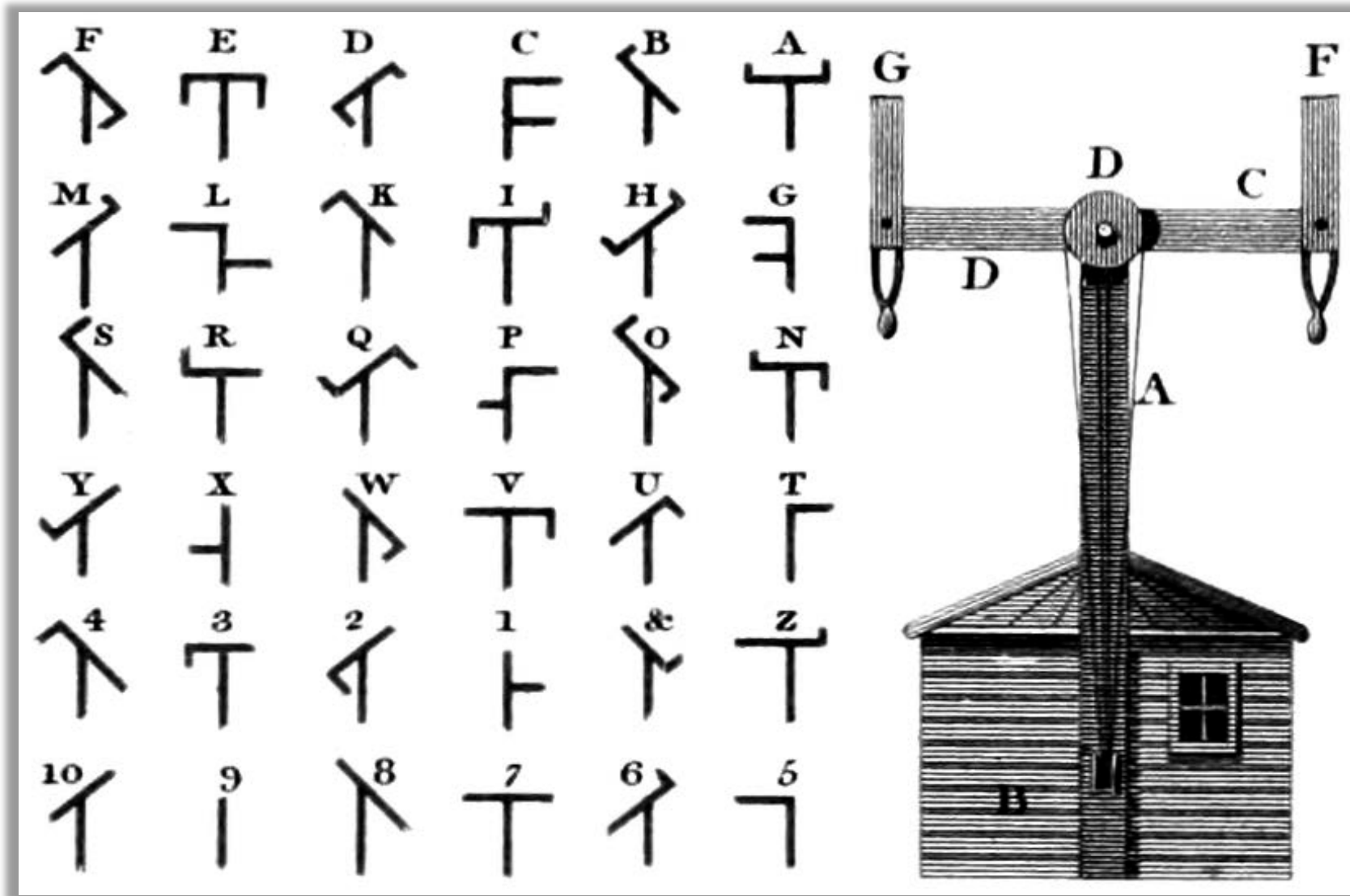


年	内容
1791	クロード・シャップ、視覚通信の装置を作成。円盤の周囲に沿って文字を配置し、送りたい文字の上に針を置く。遠方にも同じ装置が見え、互いに望遠鏡で見る。このシャップの文字盤の文字はロバート・フックが考案した視覚通信用の文字に類似している。
1794	クロード・シャップ、腕木通信の仕組みを作成、60年以上の間、ヨーロッパ大陸で実用。 最初はtachygraphe ("fast writer" に相当するギリシャ語) と名付けたが、その後、"far writer" に相当する"τηλεγραφω" から télégraphe=telegraph と名付けた。Semaphore とも呼んだ。 パリとリールの間、143マイル(230km)を連結。

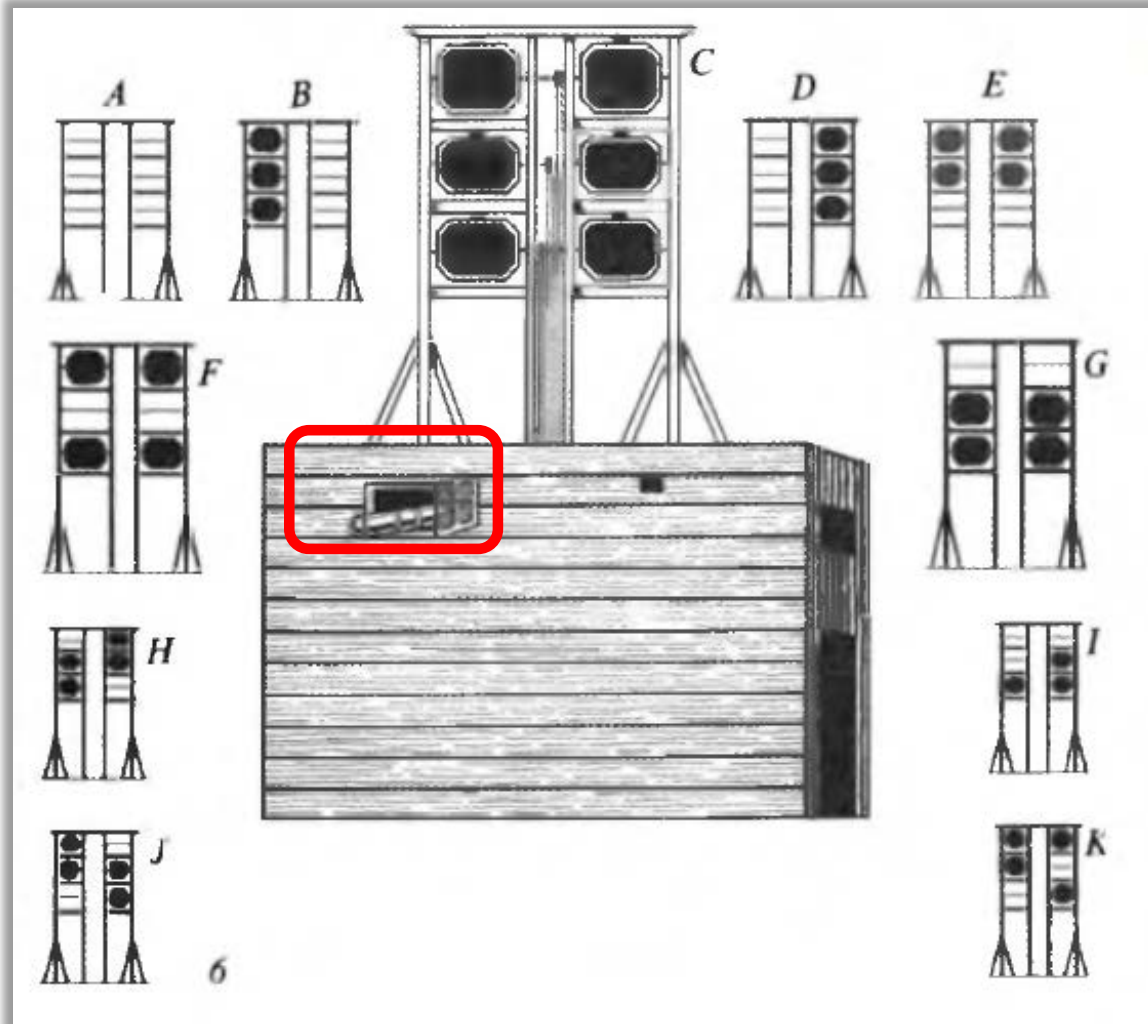
引用 "From semaphore to satellite" ITU, p. 12 (1965, Geneva).

アニメーション引用 <https://people.seas.harvard.edu/~jones/cscie129/images/history/chappe.html>

「電気通信」前史: Claude Chappe の機械式腕木通信



「電気通信」前史: シャッター通信



年	内容
1794	<p>クロード・シャップの腕木通信が英国にもたらされ、フランス軍の侵攻に備えてジョージ・マレーが英国海軍に視覚通信システムの構築を提案。</p> <p>6枚の開閉可能なシャッターの組み合わせ(6ビット)でアルファベット文字や数字・記号などを表現。6枚のシャッターの開閉を二人で操作。</p>
1796	<p>英国海軍に制式採用。英国及び植民地に多数の通信線が張り巡らされる。後に、視認性の理由からシャップ・セマフォ方式に置き換えられるが、ロンドン・ポーツマス間の通信は1847年まで使用された。</p> <p>通信タワーは小高い丘の上の望楼の上に設けられ、この丘は今でもテレグラフヒルと呼ばれている。</p> <p>望楼の壁から出ているのは、隣接する望楼のセマフォを観察する望遠鏡。</p>

「電気通信」前史: シャッター通信の経路



左図は、1816年までに構築された英国海軍のシャッター通信回線。ロンドンーポーツマス間は15分でメッセージが到達。

共通用語の母音を省略するなどの圧縮法も採用されたほか、あらかじめ「直ちにフランス海軍を打倒せよ」などの既定の用語に略号を割り当てる方法がとられた。

霧が頻繁に発生する地帯であり、視認性の理由から、1816年にはシャップ・セマフォ類似の方式に置き換えられた。

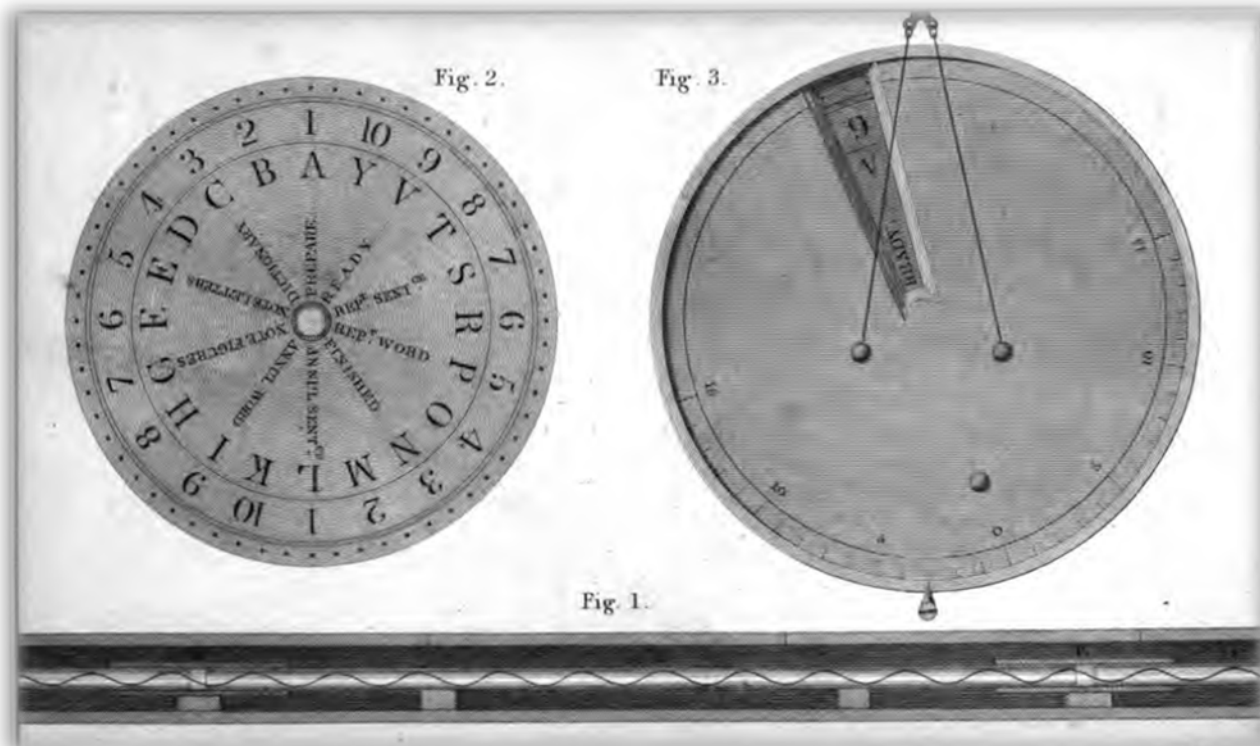
「電気通信」揺籃：静電気通信



静電気通信の実験のためにフランシス・ロナルドが自宅農場に総延長80マイルにわたって展張した電線。一端にライデン壺からの静電気を加え、他端にその影響が現れることを確認。

年	内容
1800	アレッサンドロ・ボルタ、電池を発明
1816	<p>フランシス・ロナルド、静電気を利用して通信が可能かどうか、実験を行った。</p> <p>自宅の庭に、電線を総延長80マイルになるように這わせ、一端にライデン瓶からの放電を加えた際、「直ちに」他端に電位が生じることを確認。しかし、天候の影響を受けやすく不安定で、検知できないこともあったという。</p> <p>この実験結果を受け、ロナルドは電線を地下に埋め込む手法を採用し、庭の地下に、200ヤード(約183メートル)の長さで銅線をガラス管に詰め、ワックスとピッチで覆い、木枠で囲って敷設した。</p>

「電気通信」揺籃：静電気通信



上のFig.1は200ヤード離れた送受間を接続するために地下に敷設された電線。静電気が漏れないよう、地下に木柱が埋められ、その中のガラス管に入れられて周囲と絶縁されている。
 Fig.2の文字盤の20分割には使用頻度の少ない J, Q, U, W, X, Z の6文字は書かれていない。

年	内容
1800	アレッサンドロ・ボルタ、電池を発明
1816	フランシス・ロナルド、送り手と受け手に同じ時計を置き、盤面の文字を同期回転させ、送りたい文字が来た時に受け手に静電気知らせる静電式通信装置を発明
1823	ロナルド、装置の動作原理を記述した書籍を出版。左のFig.2は円周に沿って20分割された区分があり、数字、アルファベット、制御指令文が置かれている。Fig.3は20分割の一部だけを窓から見せる覆い。 送受の時計は同期して回転し、どちらの窓も同じ数字・文字などが見える。 送りたい文字が来たとき、送り手は電信線に静電気を加える。すると、受け手の側のpith-ball 電位計が反応し、送られて来た文字がわかる。

「電気通信」揺籃：文字の符号化

BARON SCHILLING'S CODE OF SIGNALS.

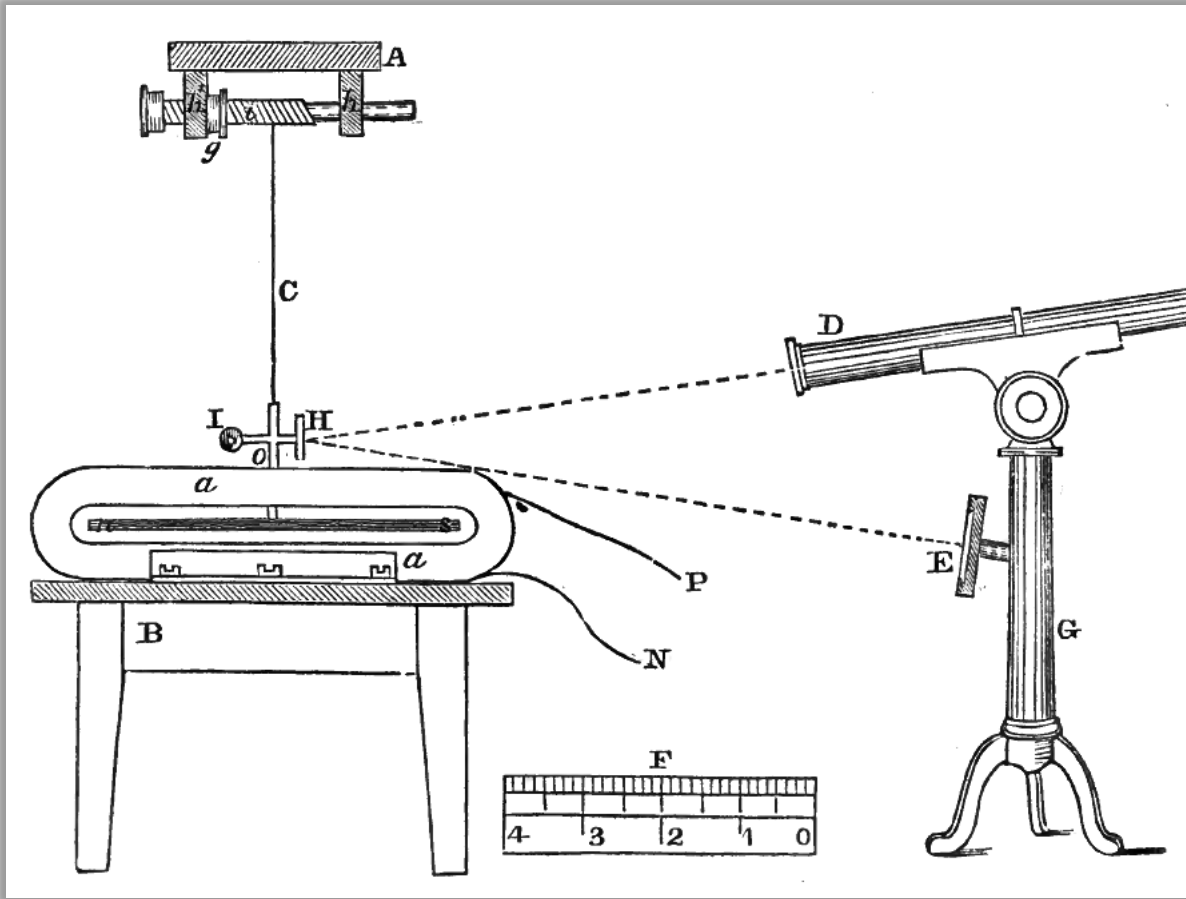
rl	A	rrrl	K	llr	U
rrr	B	lrrr	L	lll	V
rll	C	lrl	M	rlrl	W
rri	D	lr	N	lrir	X
r	E	rir	O	rllr	Y
rrrr	F	llrr	P	rlrr	Z
llll	G	lllr	Q	rrlr	&
rlll	H	lrr	R	lrri	go on
rr	I	ll	S	lrll	stop
rlll	J	l	T	llrl	finish

rlrlr	1	lrirl	6
rrlrr	2	rlllr	7
rlllr	3	rlrrr	8
lrrrl	4	llrll	9
lrlll	5	llrrl	0

年	内容
1800	アレッサンドロ・ボルタ、電池を発明
1820	ハンス・クリスティアン・エルステッド、導線に電流を流すと磁針が振れることを発見
1820	<p>パヴェル・シリング、電線に流す電流の向きを変え、磁針を左右に偏位させる電磁式通信を発明。</p> <p>左図のように、文字 `A` を送るには、磁針を右 (r) に振らせてから左 (l) に振らせる。</p> <p>文字の出現頻度に応じた可変長の符号化 (エントロピー符号化) のアイデアを獲得。</p>

図引用: The telegraph manual: a complete history and description of the semaphoric, electric and magnetic telegraphs of Europe, Asia Africa and America, Ancient and Modern, by Tal. P. Shaffer, p.137 (1867).

「電気通信」揺籃：文字の符号化

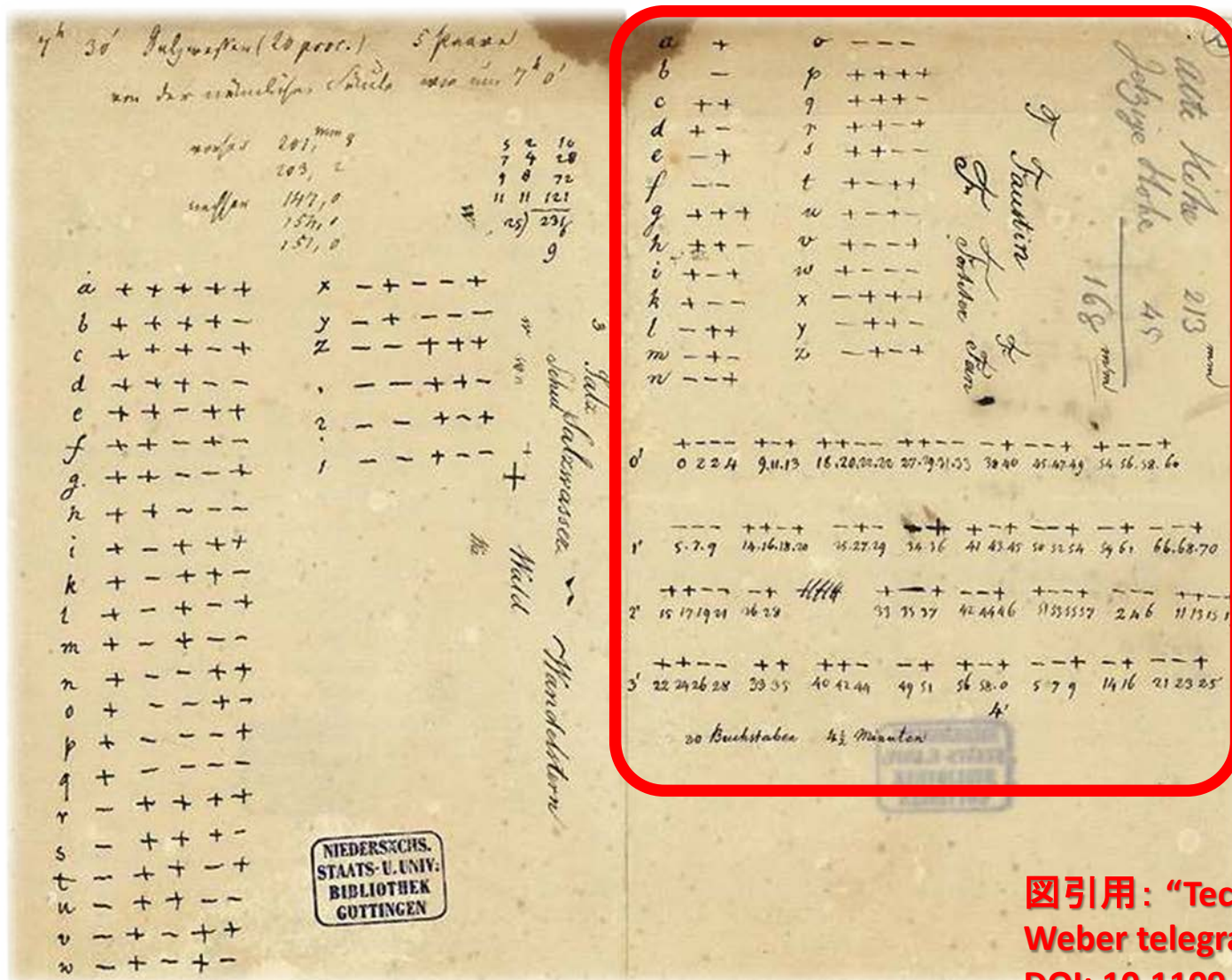


年	内容
1800	アレッサンドロ・ボルタ、電池を発明
1820	ハンス・クリスティアン・エルステッド、導線に電流を流すと磁針が振れることを発見
1824	ウィリアム・スタージャン、電磁石を発明
1833	カール・フリードリヒ・ガウスとヴィルヘルム・ヴェーバー、 5単位固定長符号化 の電磁式通信システムを発明(次のシートに補足)

A	rrrrr	I or Y	llrll	R	rrrll
B	rrrrl	K	lrrrl	S or Z	rrlrl
C	rrrlr	L	rlrrr	T	llrlr
D	rrlrr	M	rrlll	U	rlllr
E	rlrlr	N	lllll	V	lrrll
F	lrrrr	O	lrlll	W	llllr
G or J	lrlrr	P	lrllr		
H	rlrrl	Q	llrrr	
1	rlllll	:	6	rllrr	
2	rrllr	:	7	lllrl	
3	rlrll	:	8	llrrl	
4	rllrl	:	9	lrrlr	
5	lllrr	:	0	lrllr	

図引用: The telegraph manual: a complete history and description of the semaphoric, electric and magnetic telegraphs of Europe, Asia Africa and America, Ancient and Modern, by Tal. P. Shaffer, p.138 (1867).

「電気通信」揺籃：文字の符号化



左ページからは5単位固定長の符号化が、右ページからは単純な可変長の符号化が行われている。インターネット上では、ガウスとヴェーバーの符号を可変長符号だとして、右ページの赤枠内だけを紹介している文献が多い。しかし残念ながらこの符号化は可変長だが、エントロピー符号化になっていない。

符号の長さを文字の出現頻度に応じて定める方法はモールス符号が有名だが、すでにSchillingによって考案されていた。これらの符号は平均符号長を最も短くできる**エントロピー最小**符号であり、一定の時間内に多くの電文を送受できる仕組みになっている。

ところで、文字自体が「符号」であるが、それをさらに符号化するアイデアはさらに古い時代にさかのぼる(次のシート参照)。

図引用: “Technological archaeology: Technical description of the Gauss-Weber telegraph,” Fernando Martin-Rodriguez, DOI: 10.1109/HISTELCON.2010.5735309, p.2, November (2010).

補足: 文字の符号化 Francis Bacon's Cipher

Exemplum Alphabeti Biliterarij.

A	B	C	D	E	F
Aaaaa.	aaaab.	aaaba.	aaabb.	aabaa.	aabab.
G	H	I	K	L	M
aabba.	aabbb.	abaaa.	abaab.	ababa.	ababb.
N	O	P	Q	R	S

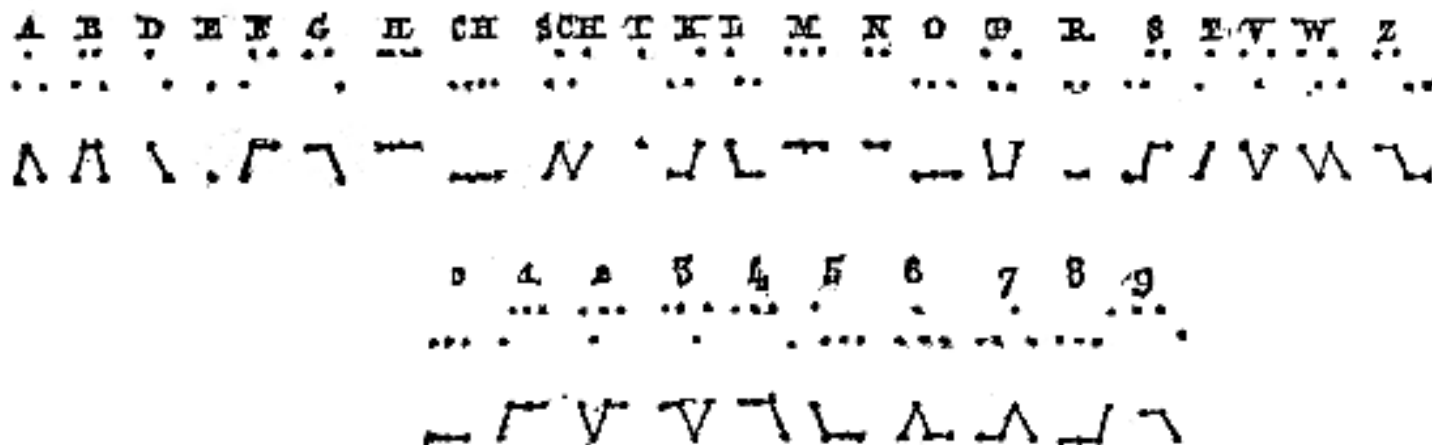
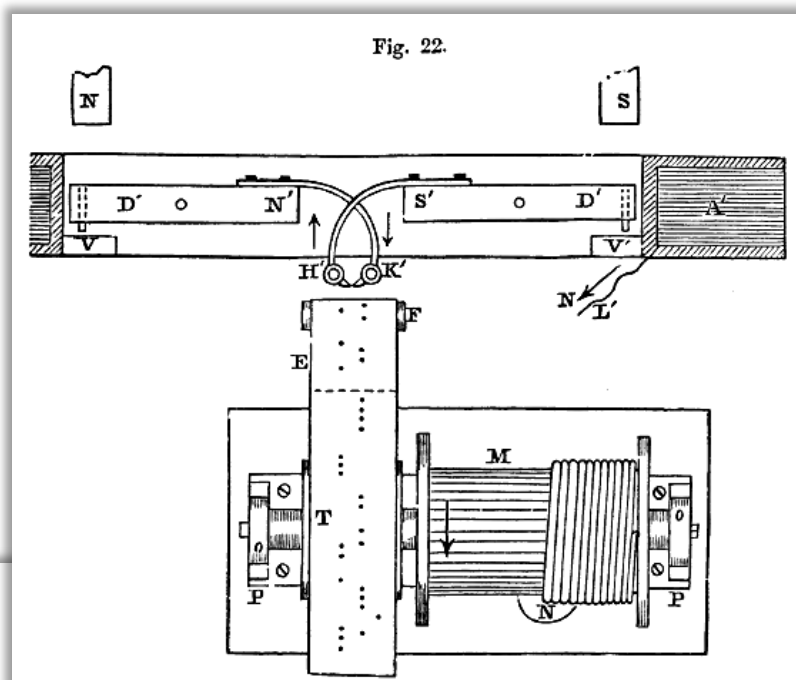
17世紀の初頭、ルネッサンス期イングランドで弁護士、政治家として活躍、近代自然科学の基礎を築いたとされるフランシス・ベーコン(1561~1626)は、アルファベットA~ZからJとUを除く24文字に対して、5個のaとbの組み合わせの文字列を左図のように当てはめた。

左図から容易にわかるように、A=0、B=1、...Z=23と附番し、その数を5ビットの2進数で表す。この2進表記の0をa、1をbで置き換えると、ベーコンのサイファが得られる。

例えば、H=7なので、5桁の2進表記ではH=00111となり、H=aabbbと置き換えられる。

Francis Bacon. [De augmentis scientiarum] Opera Francisci Baronis de Verulamio, vice-comitis Sancti Albani, tomus primus: qui continet De dignitate & augmentis scientiarum libros IX. Ad regem suum. 1623 (STC 1108)

「電気通信」揺籃: Steinheilの功績



年	内容
1838	ガウスとヴェーバーの電信に対して、 カール・アウグスツ・スタインハイル が重大な改良を行い、電信の発展に先駆的な役割を果たした。
1	電線は1本だけでよく、 接地(アース線) が有効であることを発見
2	ボルタの電池は不安定なため、 磁石を動かして電流を発生させた(magneto)
3	毛細現象でインクを吸い上げ、受信した符号を紙テープ上に印字する装置(サイフォンレコーダー)を作成した
4	電線を張るため、 電信柱と碍子 を使ったシステムを構築した

図引用: **The telegraph manual: a complete history and description of the semaphoric, electric and magnetic telegraphs of Europe, Asia Africa and America, Ancient and Modern, by Tal. P. Shaffer, pp.176-178 (1867).**

magneto (マグネトー)

2:28 11月2日(土) 80%

🔍 magneto 📖

mag•ne•to (mæg'ni tɔʊ)
n., pl. -tos.
 a small electric generator in which permanent magnets provide the magnetic field.

[1880–85]

magneto-
 a combining form representing [magnetic](#) or [magnetism](#) in compound words: *magnetometer*.

Thesaurus
 Legend: |Synonyms |Related Words |Antonyms

n. 1 magneto - a small dynamo with a secondary winding that produces a high voltage enabling a spark to jump between the poles of a spark plug in a gasoline engine

[magnetolectric machine](#)
[generator](#) - engine that converts mechanical energy into electrical energy by electromagnetic induction
[ignition system, ignition](#) - the mechanism that ignites the fuel in an internal-combustion engine

初期の電話機には、ハンドルを回すと交換台を呼び出せる仕組みがあるが、それがマグネトーである。ハンドルを回して発電すると、呼出者に接続された交換台のリレーが作動し、呼び出し者の番号が表示される(UECミュージアムの交換台を参照されたい)。

「電気通信」揺籃: 5針式電信機

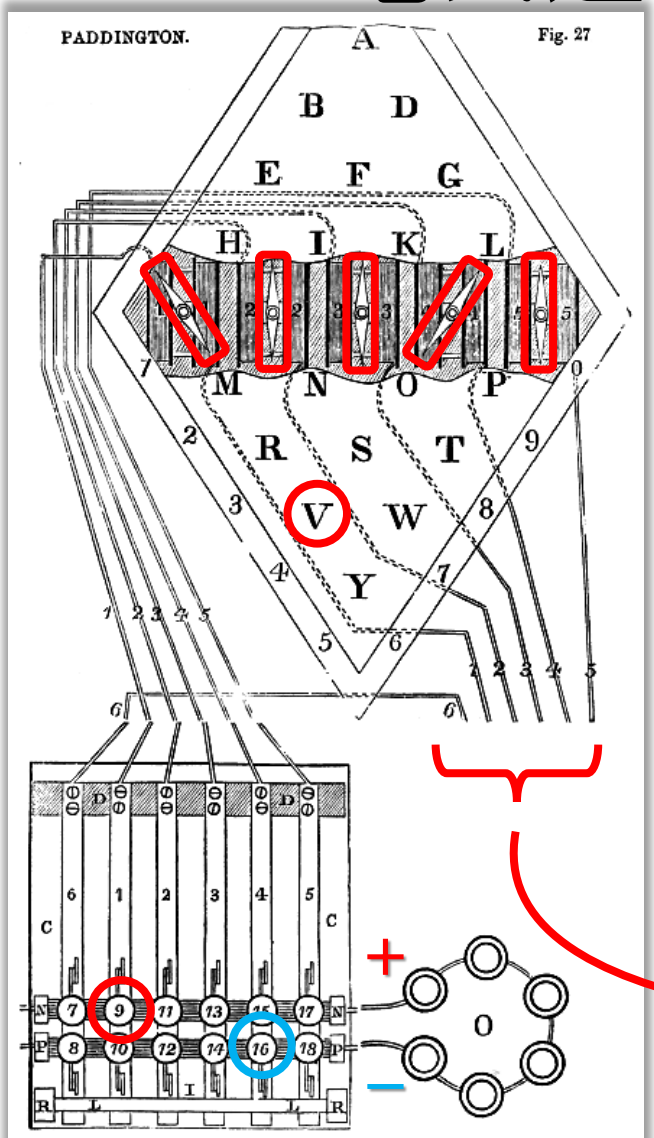


年	内容
1826	ゲオルグ・オーム、「オームの法則」を再発見
1837	この年の6月12日、ウィリアム・クックとチャールス・ホイートストーンが電信機の特許を取得(申請は5月)。 6月25日、ロンドン駅ユーストンスクウェアからカムデンタウンまでの間、約1.5マイル(2.4km)で実験が行われ、最初のメッセージが送られた。 送受間の配線は地下に埋設された。 同じ頃、サムエル・モースがニューヨーク大学にて1,700フィート(約520メートル)の距離で通信実験を行う。

出典: https://ethw.org/Cooke_and_Wheatstone%27s_Electric_Telegraph

写真引用 <https://blog.sciencemuseum.org.uk/revealing-the-real-cooke-and-wheatstone-telegraph-dial/>

「電気通信」揺籃: 5針式電信機

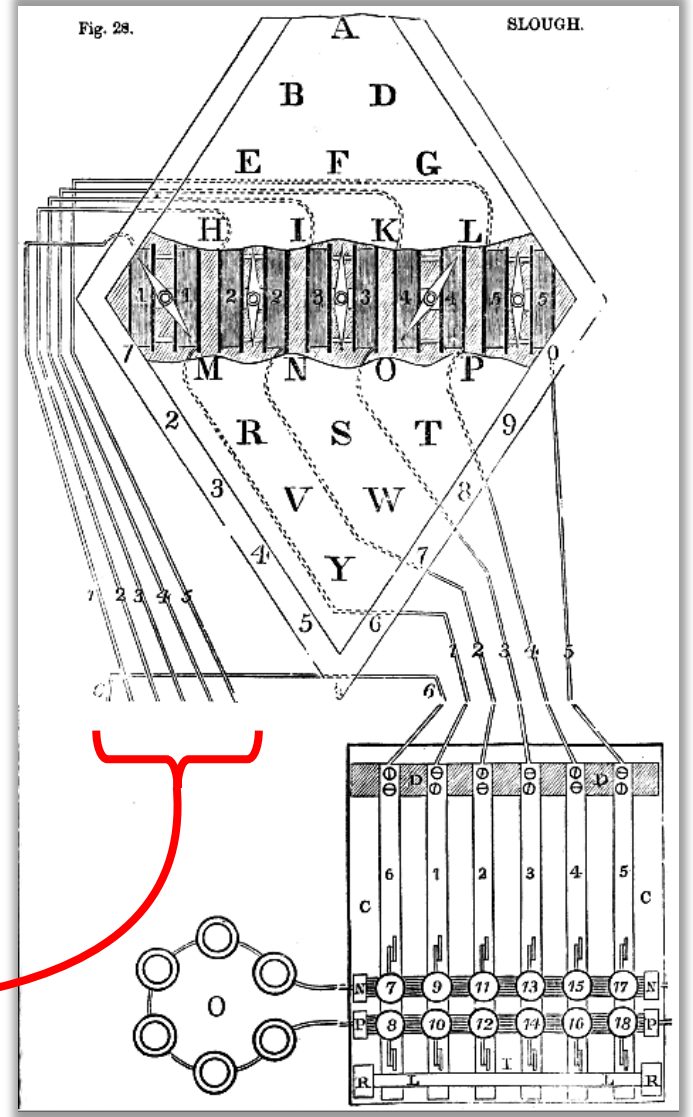


パディングトン駅から18マイル(29km)離れたスラウ駅まで、地中に埋めた鉄のチューブに6本の被覆線を通して運用したが、経済的でなかったので、2針、単針と順次、針の数を減らす改良がおこなわれた。

配線を地中に埋設したのは、故意の妨害や物理的なダメージを避けるためだった。

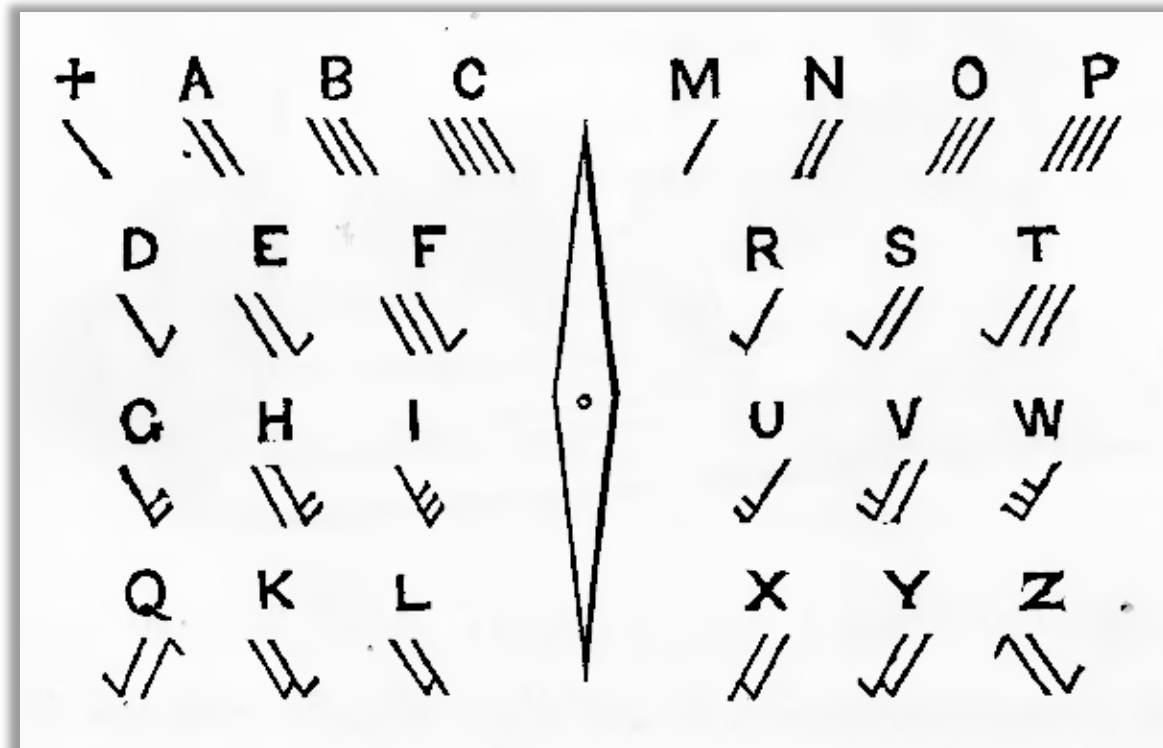
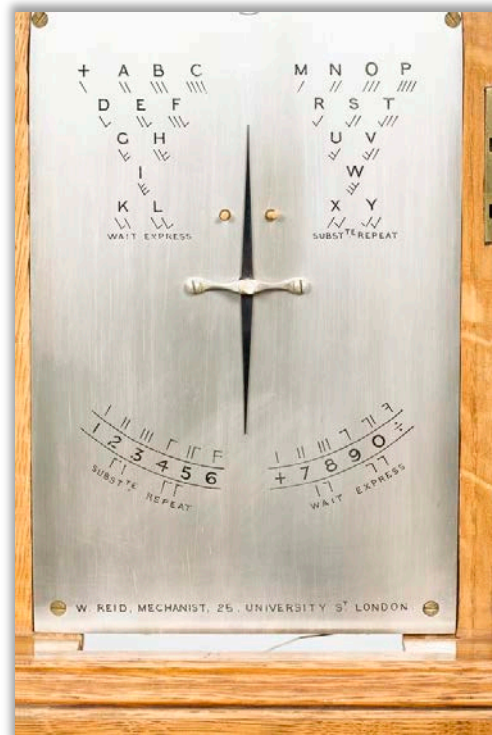
ラッドライト運動が盛んだった1810年代から年月が未だ経っておらず、機械化に対する反抗は依然強かった時代である。

ちなみに、マルクス「共産党宣言」は1848年に発行されている。



引用: The telegraph manual: a complete history and description of the semaphoric, electric and magnetic telegraphs of Europe, Asia Africa and America, Ancient and Modern, by Tal. P. Shaffer, pp.204-205 (1867).

「電気通信」揺籃：単針式電信機



1846年に英国電信会社で採用された単針式電信機。ハンドルを操作して針を左右に振らせる。エントロピー符号化にはなっていない。斜め線に長短のセットがある場合は、最初に短い線の向きを操作するというルールだった(インターネット上には逆の説明もあり)。

1本の架線と接地(アース)の採用により、経済的な運用が可能となったが、従来からのオペレータは1843年に作られた2線式の方が操作が楽で送受信も早いと主張したという。

画像出典：<https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co33268/single-needle-telegraph-1846-telegraph>

「電気通信」揺籃: ABC電信機



1840年にクックとホイートストーンによって発明された指字ダイアル式電信機の送信機(左)と受信機(右)
送信機表面に文字盤があり、所定の位置に送りたい文字が来るように文字盤を回転する。文字盤の下を見ると、1文字おきに導通・被導通を繰り返す金属パターンが張られていて、文字盤の回転に伴って電流がON、OFFされる。受信側では送られてきたパルスのON、OFFに脱進器(Escapement Wheel)が同期して指字針が回転する。脱進器についてはシート番号25を参照されたい。

写真引用
<https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co32920/cooke-and-wheatstones-a-b-c-telegraph-receiver-1839-1840-telegraph>

「電気通信」揺籃: ABC電信機



年	内容
1840	ウィリアム・クックとチャールス・ホイートストーン、“ABC Telegraph”と呼ばれるダイアル式の電信機を発明

ABCダイアル式電信機には改良が加えられて種々の方式があるようだが、左図は送信機と受信機がセットになったもの。送信機の下部にマグネト(magneto)が組み込まれており、手前のハンドルで駆動され、電線に交流パルスを創出する。交流の半サイクルで指針が1文字分進み、2文字で1サイクルとなる。外部電池は不要である。

メッセージ交換に際しては、あらかじめ送受側の針をスタート位置(一番上中央にある+文字)にセットした後、ダイアルの周囲についているボタンを押下して送信すべき文字を選び、ハンドルを回すと、送信すべき文字の位置に達したところでマグネトが遮断される。

送信側の指針はマグネトと同じくハンドルの機械的回転で駆動されるが、受信側では送られてきた交流パルスでソレノイドを駆動し、脱進器で指針が回転される。こうして、送信側で押下した文字の位置まで、受信側の指針が回転していく。

次に送信したい文字のボタンを押してハンドルを回すと、以前のボタンがリリースされ、マグネトが動作して次の文字までの文字数に応じたパルスが出力され、当該文字に達したところでマグネトが遮断される。こうして、順次ボタンを押下した文字列が受信側に提示されていく。

ダイアルは時計回りにしか回転しないので、文字Bの次にAを送信すると、ほぼ1回転する時間が必要である。

「電気通信」揺籃: ブレゲ式指字電信機



指字送信機

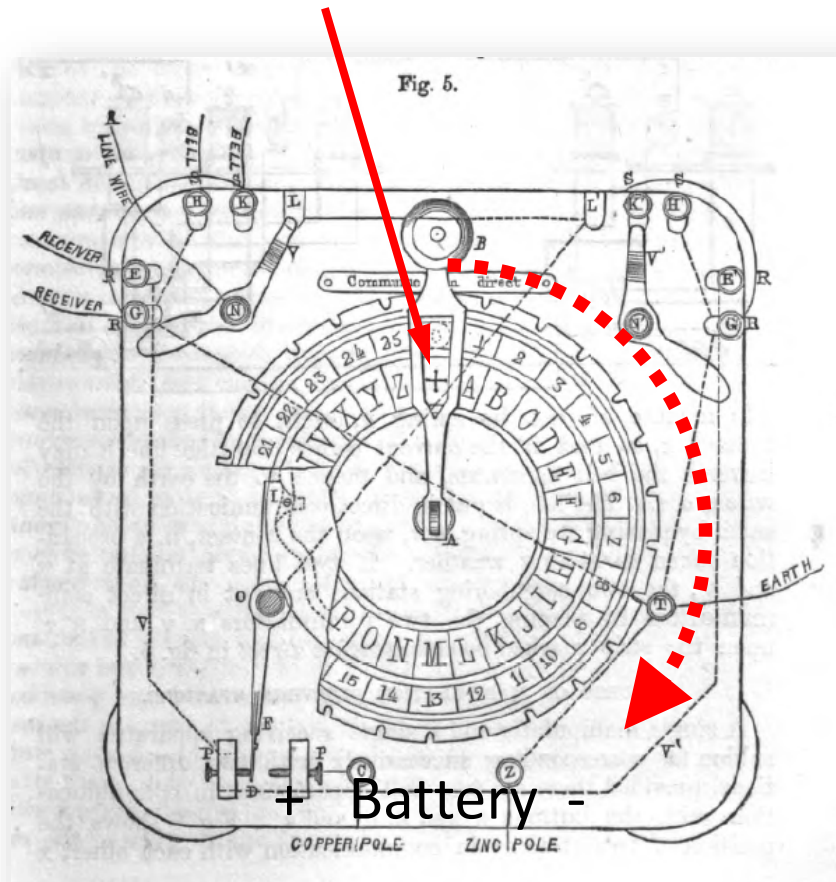


指字受信機

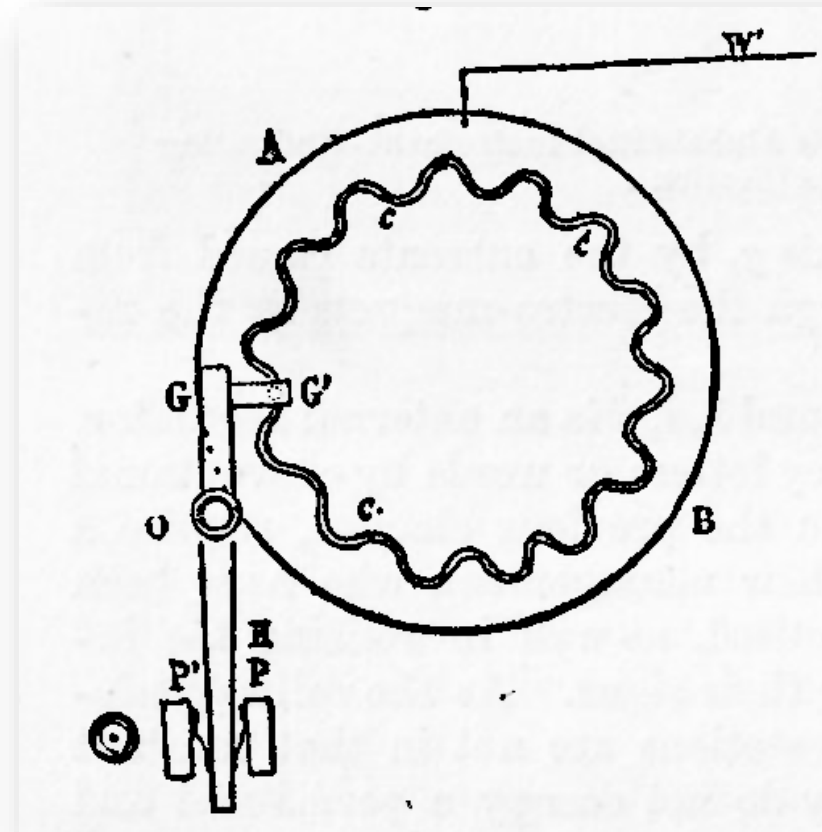
年	内容
1842	ルイ・フランソワ・ブレゲ(フランスの時計職人)、使用の容易なダイヤル式電信機を發明
1869	この年の8月、横浜燈明台役所と横浜裁判所(役所)とのあいだで、ブレゲ式指字電信機を使った公用の通信が始まった。 12月、横浜裁判所と築地運上所との間に公衆回線が敷設され通信業務が始まった。

「電気通信」揺籃: ブレゲ式指字電信機

送信側のハンドル操作



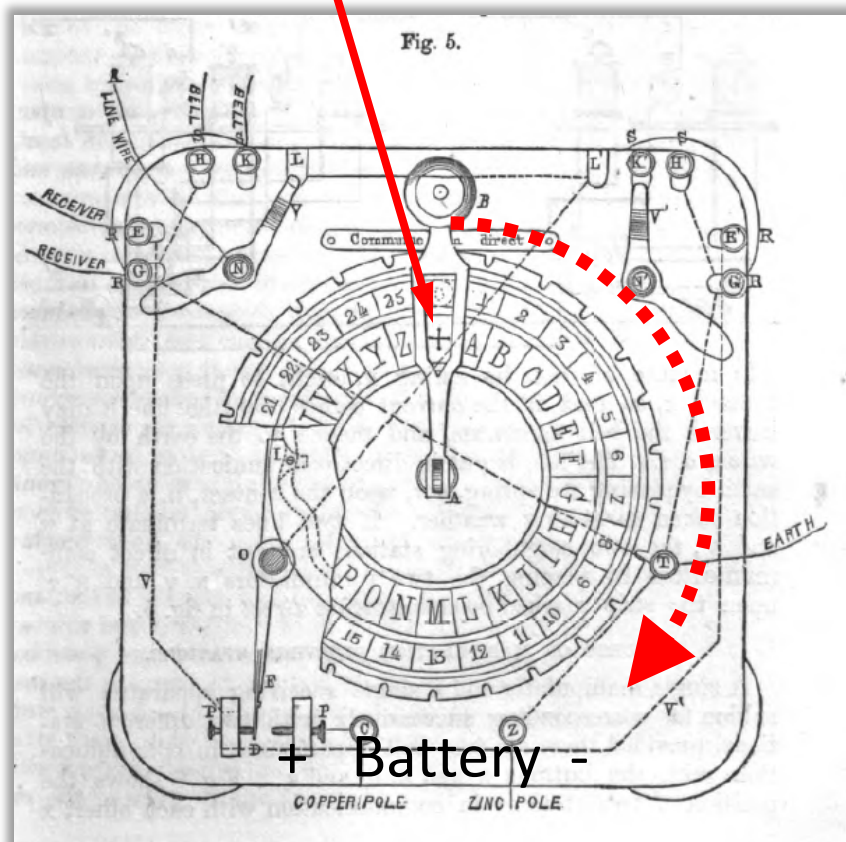
指字ハンドルによるON/OFF操作



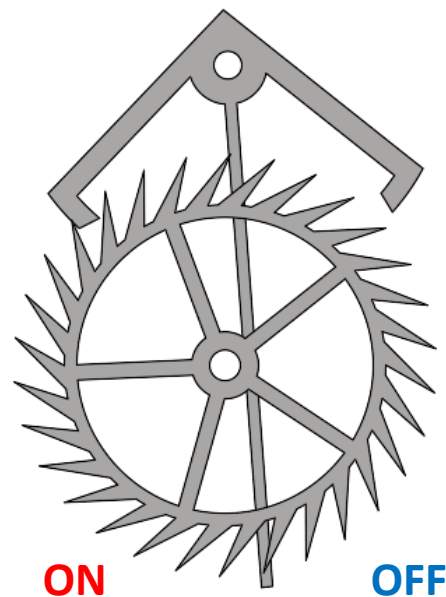
左図引用: The telegraph manual: a complete history and description of the semaphoric, electric and magnetic telegraphs of Europe, Asia Africa and America, Ancient and Modern, by Tal. P. Shaffer, p.339 (1867).

「電気通信」揺籃: ブレゲ式指字電信機

送信側のハンドル操作



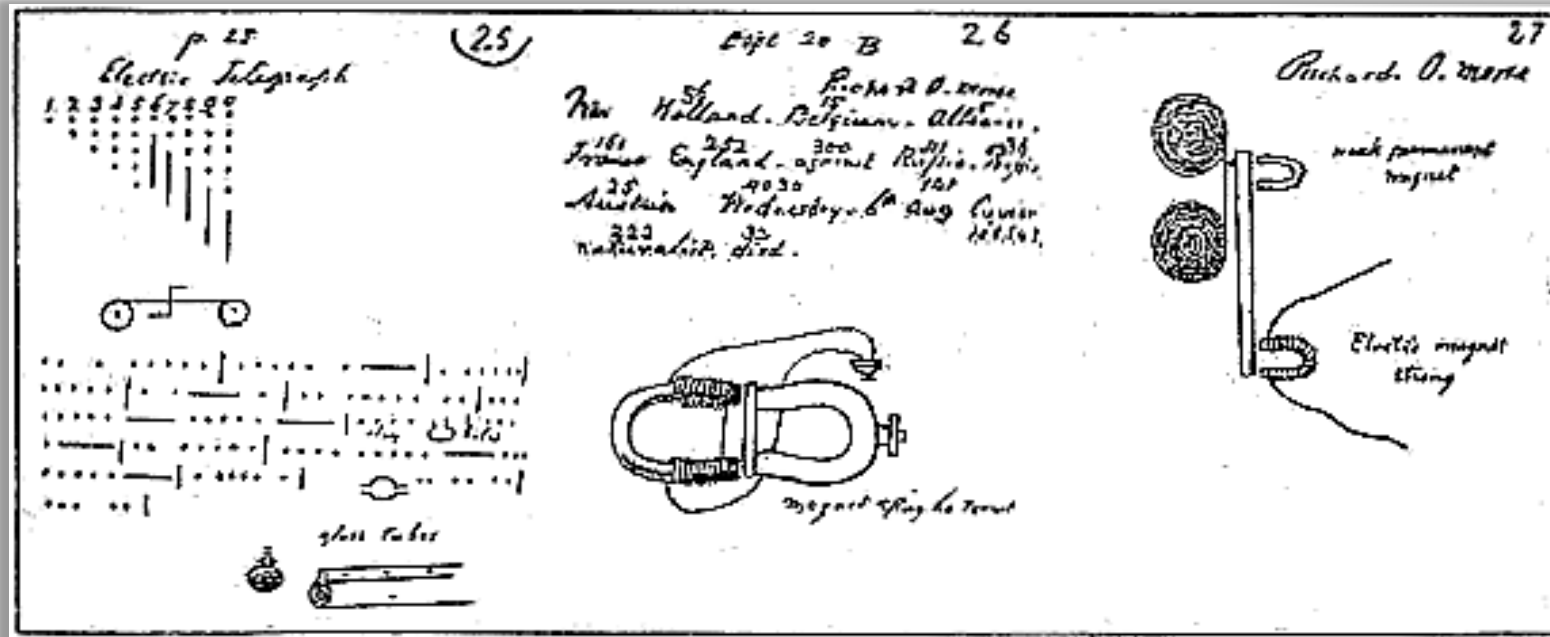
受信側の脱進器
(Escapement Wheel)の動き



By Mfrasca at English Wikipedia, CC BY-SA 3.0,
アニメーションの引用
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8310810>

左図引用: The telegraph manual: a complete history and description of the semaphoric, electric and magnetic telegraphs of Europe, Asia Africa and America, Ancient and Modern, by Tal. P. Shaffer, p.339 (1867).

「電気通信」揺籃: モースの着想



上図はヨーロッパからの帰路に書いたノートから。

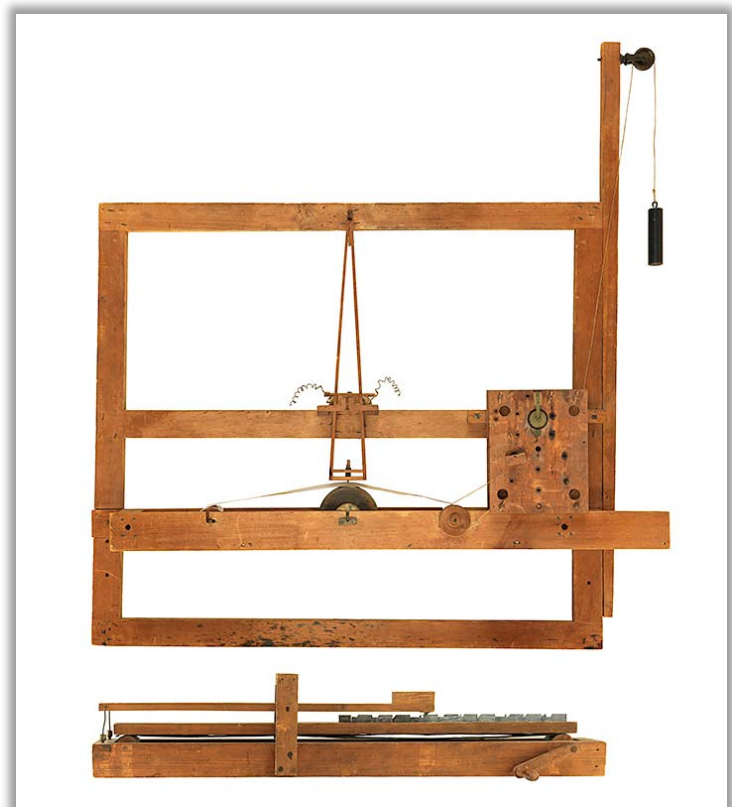
中央の図に 56: Holland, 15: Belgium, ... 252: England, 4030: Wednesday,....32: died などのように、英単語を数字列で表す独特の辞書を用意し、電文はすべて数字に置き換える方法を考えた。このように、モース自身は数字だけの符号を考案したが、後にヴェイルが改良した符号がアメリカ大陸で広く使われるようになる。

図引用: "History of Telegraphy", IET History of Technologies Series 26, Ken Beauchamp, p. 54 (2001)

事績引用: <https://www.smithsonianmag.com/smithsonian-institution/how-samuel-morse-got-his-big-idea-16403094/>

年	内容
1825	サミュエル・モース、ニューヨーク大学美術教授。アメリカ独立革命を支援したフランスのラファイエット伯爵の肖像画を描くためワシントンに滞在中、第3子を生んだ直後の妻の死と埋葬に立ち会えず、翌年には父が、3年後に母を亡くす。
1829	心を癒すためヨーロッパ旅行に出かける
1832	ヨーロッパからの帰路に同船した高名な地質学者チャールズ・トーマス・ジャクソンから電気と磁気、電磁石に関する知識を得る。

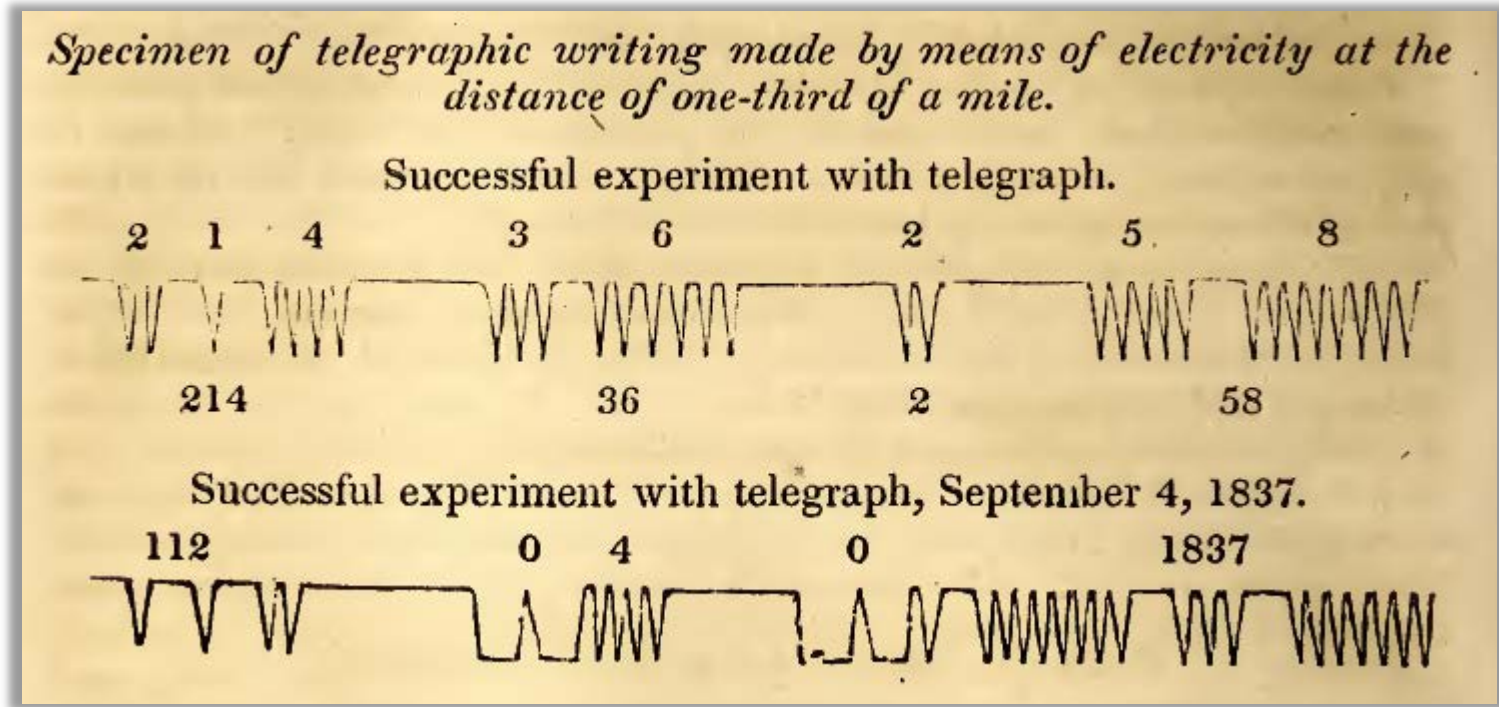
「電気通信」揺籃: さまざまな工夫



1837年にモースがイーゼルを流用して作った印字機(上)と送信機(下)
 古い時計(右の四角い箱)を錘で駆動して紙テープを排出する。中央の振り子を電磁石で動かし、紙テープ上に受信した波形を鋸歯状に描いていく

年	内容
1837	<p>ニューヨーク大学の同僚レナード・ゲイルと技術と財政の支援者アルフレッド・ヴェイルの協力を得、ニューヨーク大学の実験室の周囲に1,700フィートの銅線を引き回し、通信実験に成功。</p> <p>当局に特許に関わる利害関係告知書を送付し、以下の原理的な特徴について主張した。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ペン、鉛筆ないしプリントホイールを有するマーキング装置 2. 動く紙テープ上に上記装置を押し付ける電磁石 3. 送信すべき情報を識別する符号の体系 4. 符号をマーキングする単一の回路 <p>(1940年6月20日付、モース名単独でUS特許No.1,647取得)</p>
1838	<p>1月6日、ヴェイルによる改良の後、ヴェイルの出身地ニュージャージー州モリスタウンのヴェイルの父親の経営する Speedwell 鉄工所内に2マイル(3.2km)の電線を張って実験を行い、電文“A patient waiter is no loser”の送受に成功。</p> <p>1月11日、数100人の前で公開デモンストレーションの電文は “Railroad cars just arrived. 345 passengers”</p>

「電気通信」揺籃：初期の印字受信機

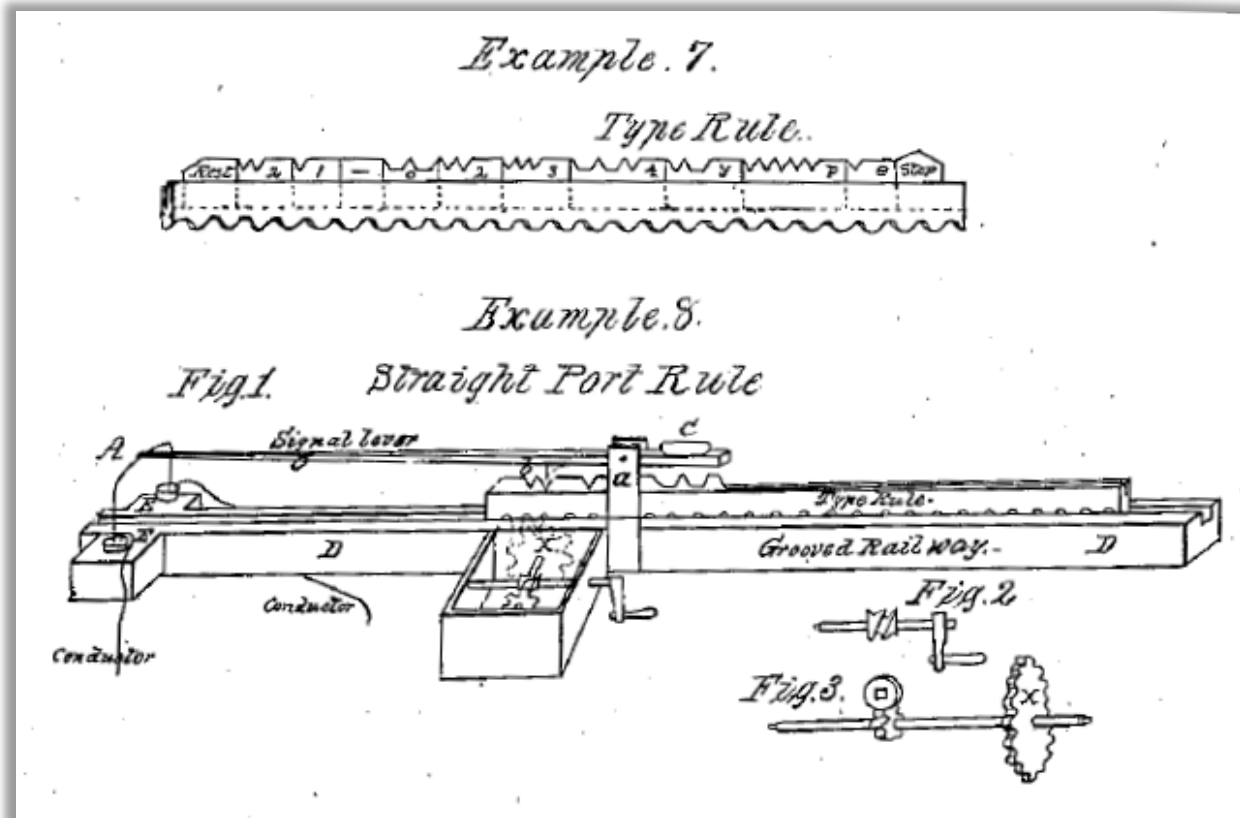
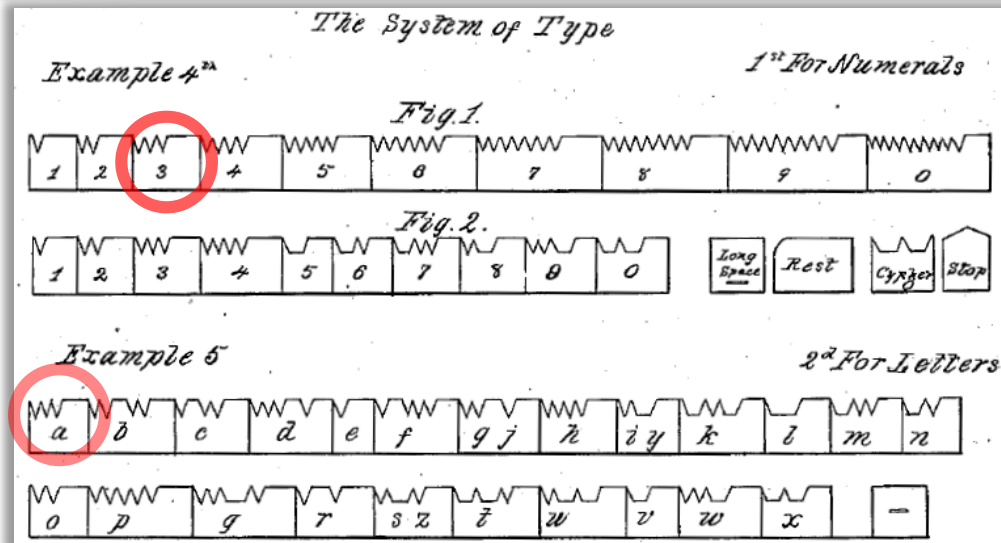
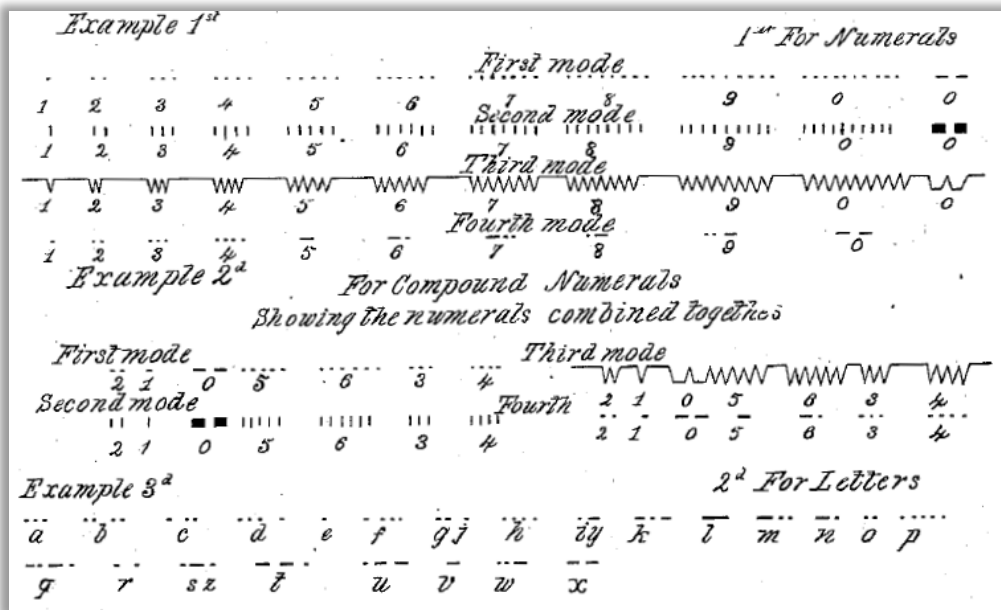


214: successful, 36: experiment, 2: with, 58: telegraph,
112: September, 04: 数字の4, 01837: 数字の1837

引用: "Telegraphs for the United States: letter from the Secretary of the Treasury, transmitting a report upon the subject of a system of telegraphs for the United States", Doc No.15, p.34 (Dec. 11, 1837).

写真引用: "History of Telegraphy", IET History of Technologies Series 26, Ken Beauchamp, p. 53 (2001) ソースは Deutsches Museum Archives, Munich

「電気通信」揺籃：モースの初期特許



数字あるいは文字の一文字ごとに木材で符号を切り込み、それらを組み合わせて送信したい数字列あるいは文字列を木枠に入れて組み立てる。木枠の底部の刻みを歯車で推進し、符号の切り込みで信号レバーを上下運動させて電信線に流れる電流をON/OFFする。

左の図を見ると、数字の'3'と英文字'a'はどちらも3個の短点であったようだ。

図引用：1840年US Patent No. 1,647 の添付図から

「電気通信」揺籃: ヴェイルの改良



写真引用:
https://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah_1096762

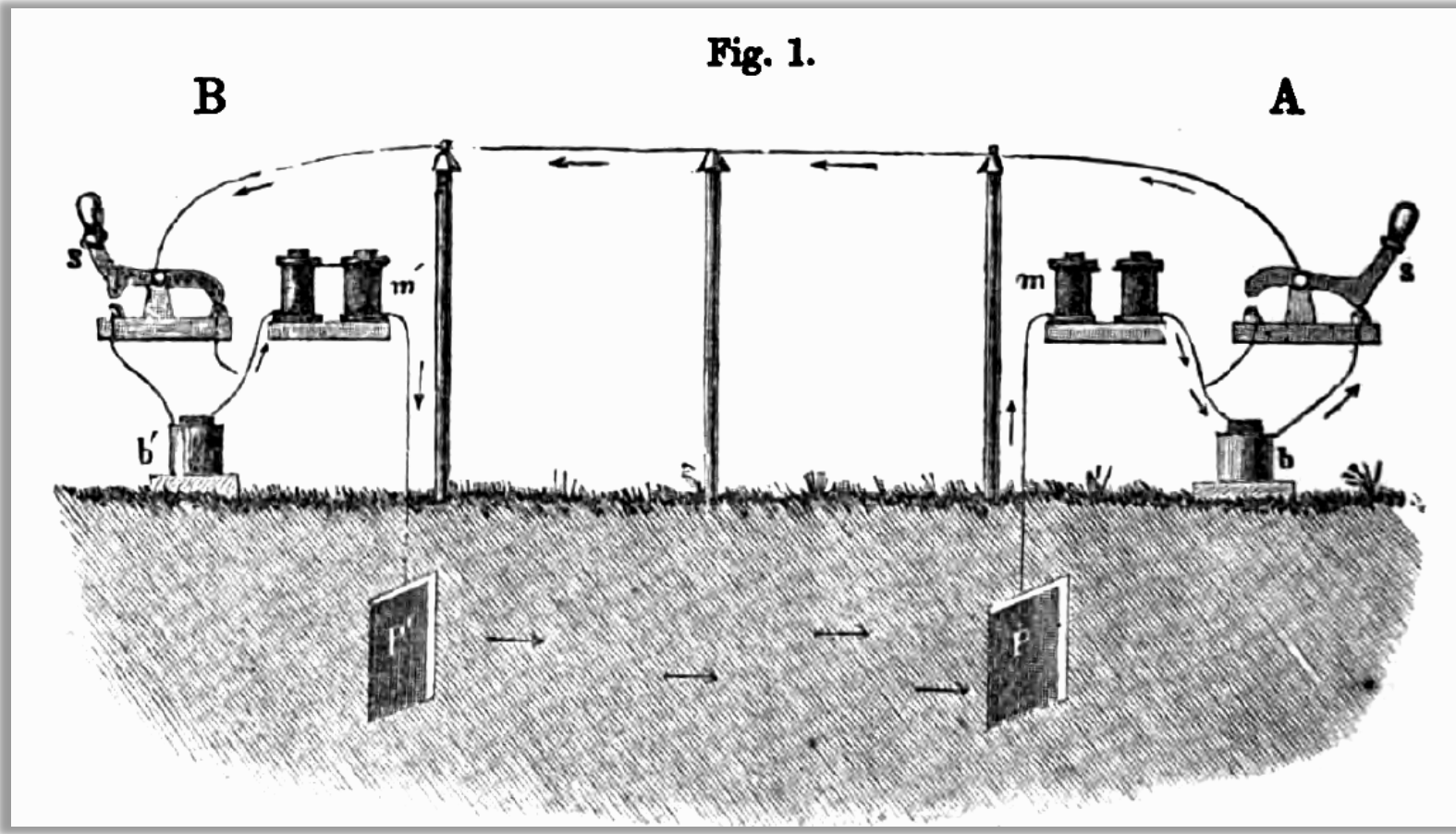


写真引用:
<http://www.telegraphkeys.com/pages/registers.html>

年	内容
1843	連邦議会、首都ワシントンとボルチモア間に電信線を敷設する予算30,000ドルを認める。
1844	5月24日、モースは最高裁判所の向かいにある国会議事堂上院棟1階の部屋から、40マイル(約64km)離れたバルチモアのマウントクレア駅に待機するヴェイルに向けて電文 “What hath god wrought” を送った。その後、ヴェイルからまったく同じ文章が返送され、モースが発案しゲールやヴェイルが改善・改良した方式の通信実験が成功を収めた。
*	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 電流を断続する装置は現在の電鍵と同様の形状となり、人手で操作、文字や数字の符号も改良。 ➤ 通信可能距離の延長は、ゲイルの提案を受けてジョセフ・ヘンリーの発明したリレー(中継器)を採用して達成。 ➤ イーゼルを流用した初期の印字受信機でなく、エンボス式印字受信機を採用。

* の引用: “Two controversies in the early history of the telegraph,” David Hochfelder, in History of Communication, ed. Mischa Schwartz, IEEE Communications Magazine, February 2010.

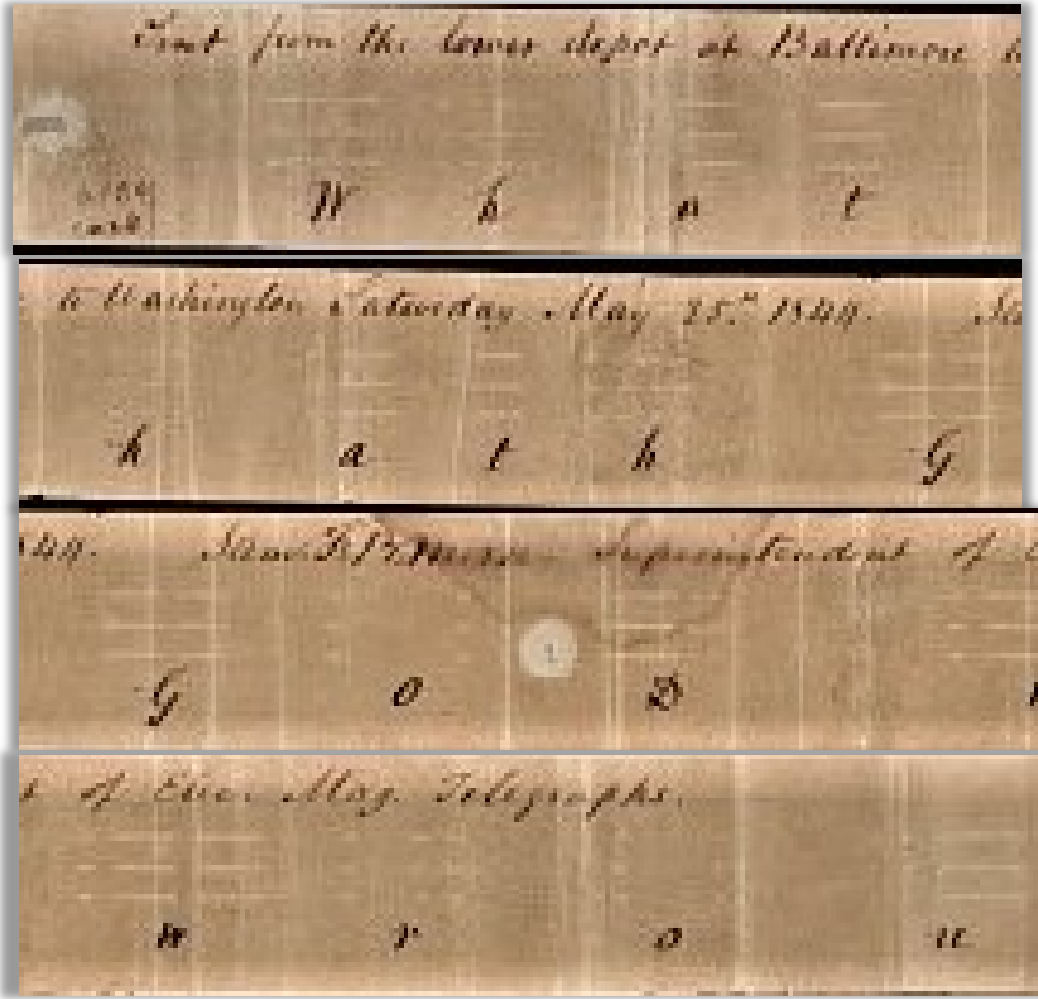
「電気通信」揺籃：電信回線



実際には20マイル程度で電流が微弱になってしまうので、途中に中継器(リレー)を挿入する。中継器は微弱な電流でも動作する電磁石で機械的にスイッチを断続する装置で、これを使って中継点のローカルバッテリーを断続し、その電流を先方に送る。また、地線(アース)を活用しているほか、架線のコストを削減する目的に加え、空中単線で双方向通信を可能とする仕組みも導入されていく。

引用: The telegraph manual: a complete history and description of the semaphoric, electric and magnetic telegraphs of Europe, Asia Africa and America, Ancient and Modern, by Tal. P. Shaffer, p.480 (1867).

「電気通信」揺籃: 1844年5月電文のエンボス記録



“What” . - - - - -

“hath” - - - -

“god” - - - . . . - . . .

“wrought”
 . - - - - - - - - -

文字`o`と`u`の符号
 が現在のモー
 ス符号と異な
 っている

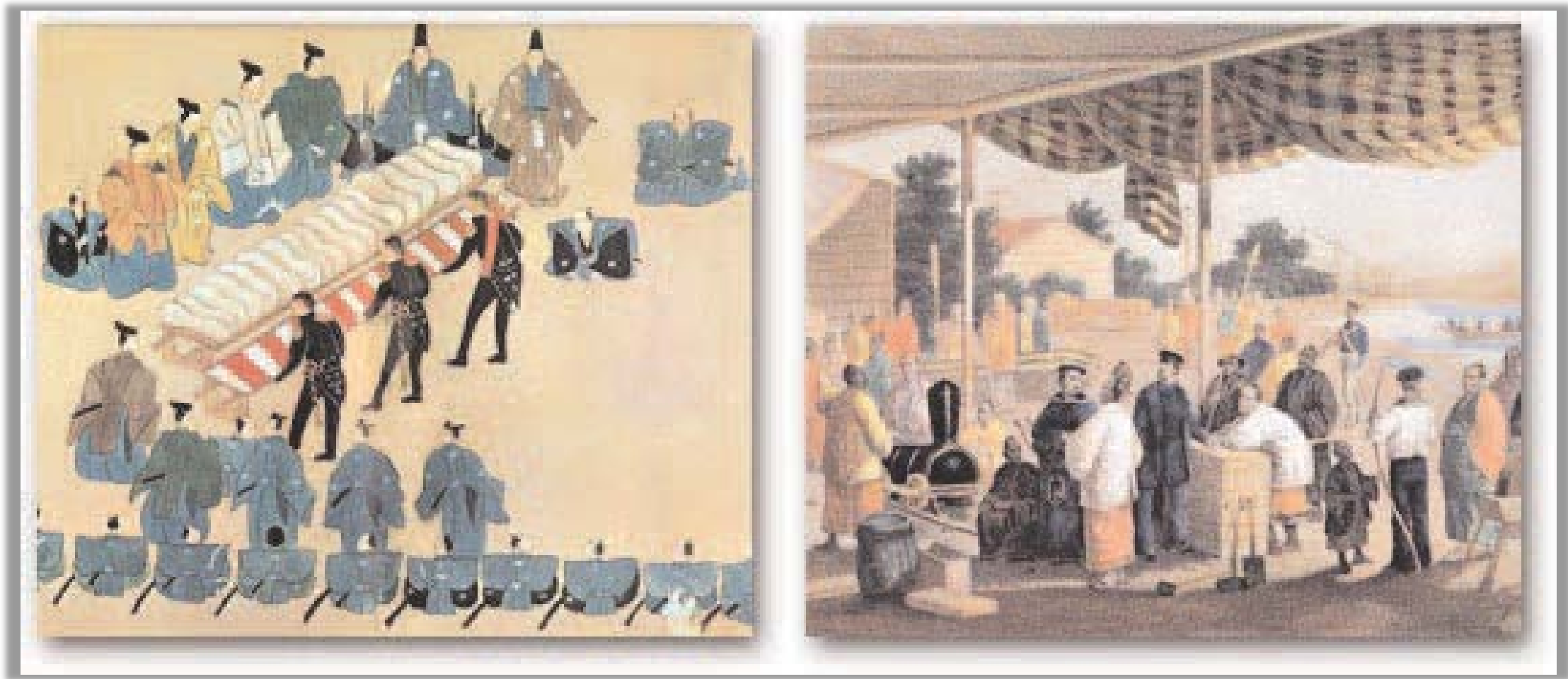
「電気通信」揺籃:「モールス符号」の変遷

	Morse	Vail	International
a	•••	•—	•—
B	••••	—•••	—•••
C	•••	•••	—•—•
d	••••	—••	—••
e	•	•	•
f	••••	•—•	••—•
g	•••	—•—•	—•—•
h	••••	••••	••••
i	•—	••	••
j	gと同じ	—•—•	•—•—
k	—•—	—•—	—•—
l	—	—	•—••
m	—••	—•—	—•—
n	—•	—•	—•

	Morse	Vail	international
o	••	••	—•—
p	•••••	•••••	•—•—•
q	••—•	••—•	—•—•—
r	••	••	•—•
s	•—•	•••	•••
t	—•—•	—	—
u	•—•—	••—	••—
v	—	•••—	•••—
w	••—	•—•—	•—•—
x	—•—	•—••	—••—
y	iと同じ	••••	—•—•—
z	sと同じ	••••	—•—••

(数字、句読点、制御符号等は省略)

「電気通信」揺籃：幕末日本への波及



図写真引用：“Black ships and Samurai, Commodore Perry and Opening of Japan (1853-1854)”, Chapter Seven Gift, John Dower. (左)日本からの贈り物、(右)アメリカからの贈り物

「電気通信」揺籃：幕末日本への波及



1854年にペリー提督が献上したエンボス式モース電信機
 (左)全体、(右上)ラクダ型電鍵、(右下)エンボッシングレジスタ

郵政博物館収蔵品(国重要文化財)のレプリカ:ミュージアム1階にて展示

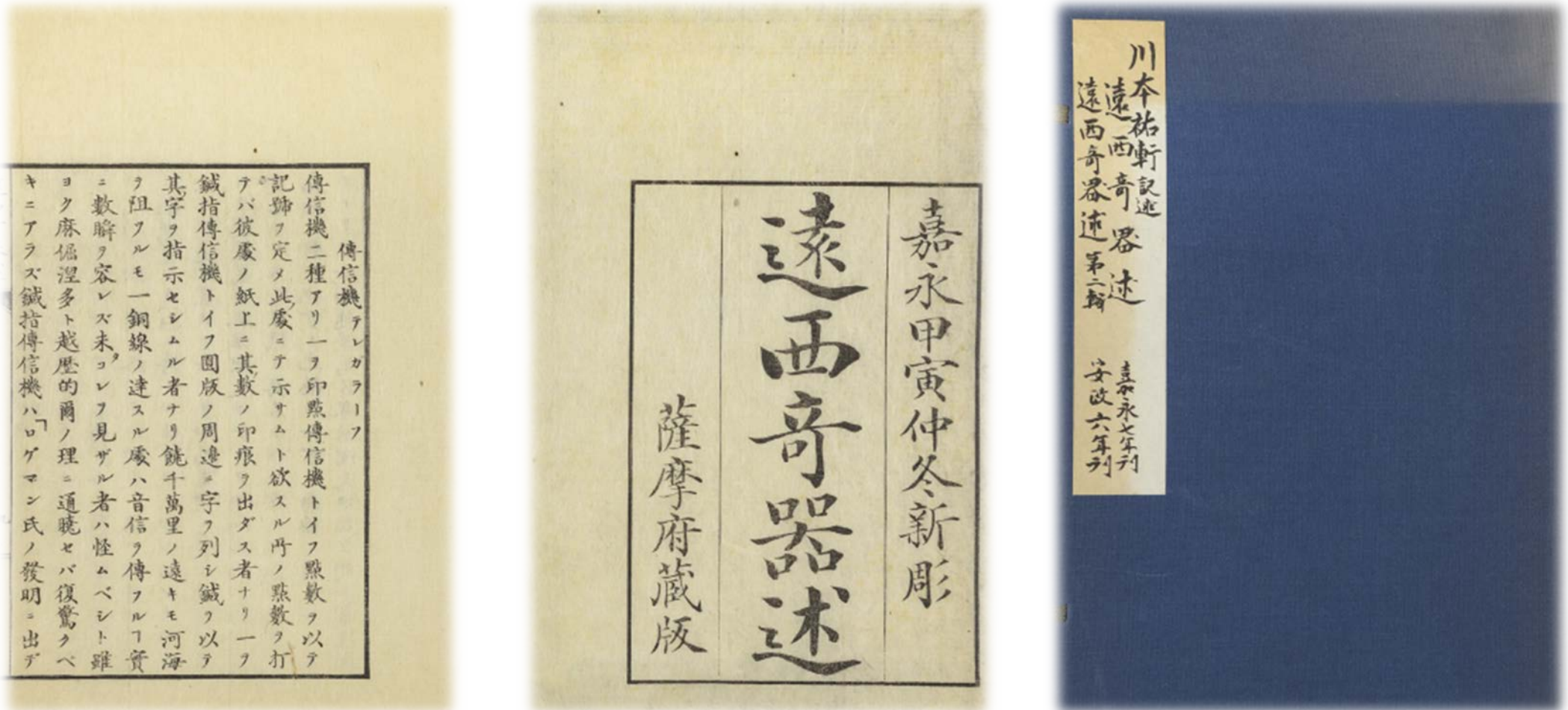
ペリー提督幕府献上電信機

1854(嘉永7)年アメリカのペリー提督が開国交渉のため黒船で第2回来航時、手土産として幕府に献上したノートン社製のエンボッシング(押彫)式モース電信機。

ダニエル電池を使用し、付属するキー(電鍵)でモース符号を送信。受信したモース符号は紙テープ下面から鋼針で押圧記録され、上面から見ると符号が凸型に浮き出て見える。紙テープは所り下げた重錘の重力を利用して繰り出される。ペリー提督団により横浜で初回が行われ日本人はじめて電気を利用したコミュニケーションを遂げた。しかし当時は幕末の混乱で実用には使われなかった。

郵政博物館蔵

「電気通信」揺籃：西洋の知識の探求



「傳信機(テレグラフ)」にはモールス式の印點(印字)傳信機の他、鍼指式(指字式)があると説明されていて、この本では鍼指式(指字式)について12ページにわたって詳細に説明されている。

引用: 京都大学貴重資料デジタルアーカイブより「遠西奇器述」川本祐軒(幸民)口述、嘉永7年(1854年)

「電気通信」揺籃：西洋事情へのあこがれ



「傳信機」について約5ページにわたって説明があり、1844年のモースらの実験や、1851年および1858年の海底電線敷設なども紹介されている。大西洋横断海底電線は1866年に敷設されたのでこの本には未だ紹介されていない。

福澤諭吉「西洋事情」慶応2年(1866年)刊行の表題と中扉
 引用：<http://iif.lib.keio.ac.jp/FKZ/F7-A02-01/pdf/F7-A02-01.pdf>

「電気通信」: 無線通信の幕開け??

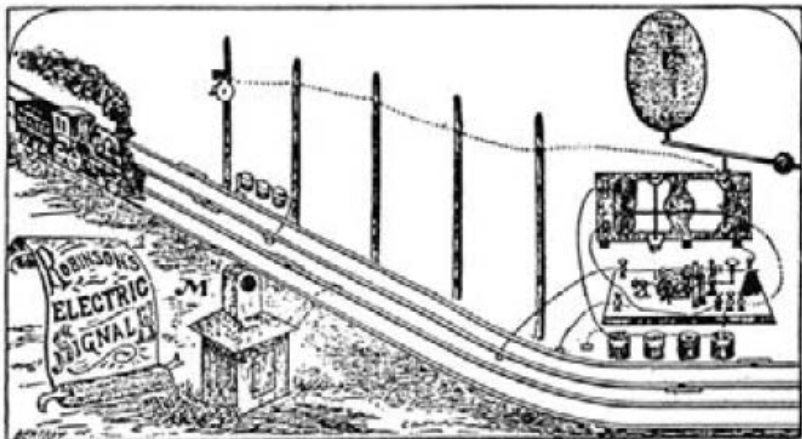


Figure 2.8 Robinson's 'Wireless Electric Signals'
 Source: Brignano, 'History of Railway Signals', 1981

ロビンソンの「**ワイヤレス**電気信号」(未だ電波は利用していない)

1860年にウィリアム・ブル(英)が開発、1867年にアメリカのウィリアム・ロビンソンがアメリカの鉄道制御システムに取り入れた。
 (この頃、wirelessという語はいろいろ使われているが、ヘルツが実験で存在を確認する1888年まで「電波」は知られていなかった)

あらかじめ決められた制御区間内に列車が侵入したとき、レール対を車輪が電氣的に接続して自動的に鉄道警報サインを「危険」に設定。異なる制御区間のレールは互いに(間に木片を挿入して)絶縁している。

列車の移動に関する情報(現在位置、進行方向、進行の速さ、ここまでの距離)が、今後到着予定の各駅で知ることができた。

1872年、フィラデルフィア・エリー鉄道で正式採用され、1880年代にモースシステムに置き換えられるまで、アメリカの標準的な鉄道通信・警報システムとして使われた。

図引用: "History of Telegraphy", IET History of Technologies Series 26, Ken Beauchamp, p. 39 (2001)