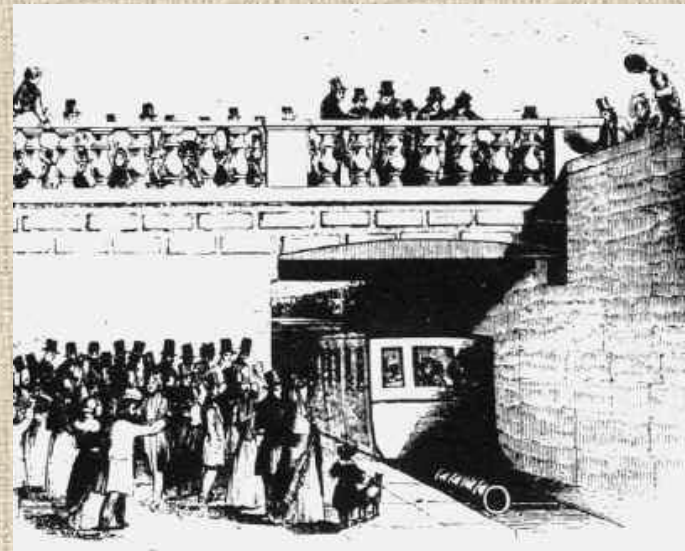


ビクトリア時代の技術者：ブルネル父子 (第9報 大気圧鉄道)

Victorian Engineers: I K Brunel and his father
(Part IX, Atmospheric Railway)

○正 佐藤 建吉 (千葉大)
学 平塚 四郎 (千葉大院)



1 緒言

Isambard Kingdom Brunel (IKB、1806～1859年)の挑戦的な企画／設計、建設については前報¹⁻⁸⁾までに河底トンネル²⁾、吊り橋³⁾、鉄道建設⁴⁾、蒸気船^{5~7)}、野戦病院⁸⁾などについて取り上げ、父と子の挑戦的な業績について詳しく述べてきた。IKBのさらに特筆すべき挑戦に、本報告で取り上げる大気圧鉄道 (atmospheric railway) がある。彼のエンジニアとしての性格、特徴が明確に現れているのがこの挑戦・企画である。技術的背景などについて述べる。

2.1 大気圧鉄道の歩み

大気圧鉄道^{9~11)}は、後述するように線路に併設されたパイプの中にピストンを入れ、管内圧力を負圧にしたときのピストン移動を駆動力として運転する鉄道である。大気圧鉄道は、1844年3月29日にアイルランドのKingstown (現Dun Laoghaire) とDalkeyの採石場の間約3km (1.75mile) で導入され、蒸気機関に置き換えられる1854年まで10年間使用された。大気圧推力は、1838年1月3日にSamuel Clegg (ガス照明産業のエンジニア) とJacob Samuda (造船業のエンジニア) が特許を取得している。

Dalkeyの採石場



Dalkeyの採石場



2.1 大気圧鉄道の歩み (つづき)

1846年には、ロンドンとクロイドン間の5マイル以上でも開通した。ロンドンでも半マイル（800m）以上の実験線が敷設された。同様な大気圧鉄道がパリの西郊外でも運転され、セイヌ河を橋で越え、St.Germainの城まで観光客を運んだ。

2.2 IKBと大気圧鉄道

IKB、Daniel Goochらは1843年9月にKingstownで大気圧機間の視察に出かけた。IKBは非常に衝撃を受けたが、Goochは機構に懐疑的であった。当時の蒸気機関では、しばしば熱水が乗客にかかったりしたため、大気圧鉄道は、騒音や煤煙などの問題がないので歓迎された。英国首相のRobert Peel 卿は大気圧鉄道に蒸気鉄道を変換するように迫ったほどであった。George Stephensonは猛反対した。

1844年7月4日に認可された南デーボン鉄道会社（the South Devon Railway Company）は、Clegg&Samudaからの大気圧鉄道の提案を受け入れ、実施はIKBに委託された。

2.2 IKBと大気圧鉄道（つづき）

IKBは、すでにWormwood Scrubs（雑木林）で1840年に大気圧鉄道について実験を行っていた。IKBは、他にロンドンの鉄道でも実験を行い、またしばしばアイルランドを訪ね、南デーボン鉄道会社SDRはExeter-Plymouth間では、大気圧方式にすべきであると主張した。彼は蒸気原動所を通過駅の地上部に置く経済性と、この区間での急勾配には特に有利であると主張した。この時期はBristolとExeterにグレイトウエスタン鉄道GWRの開通時期でもあった。

2.2 IKBと大気圧鉄道（つづき）

最初の大気圧鉄道がこの路線で開通したのは1847年でExeter - Teignmouth間であった。蒸気機関駆動の真空ポンプは、Exeter St. Davids, Turf, Starcross, Dawlish, Teignmouth, Bishopsteignton, Newton Abbotのポンプハウスに設置された。Fig.1に地理を示す。

Fig.1 A map of South West England, relating to the GRW and the SDR



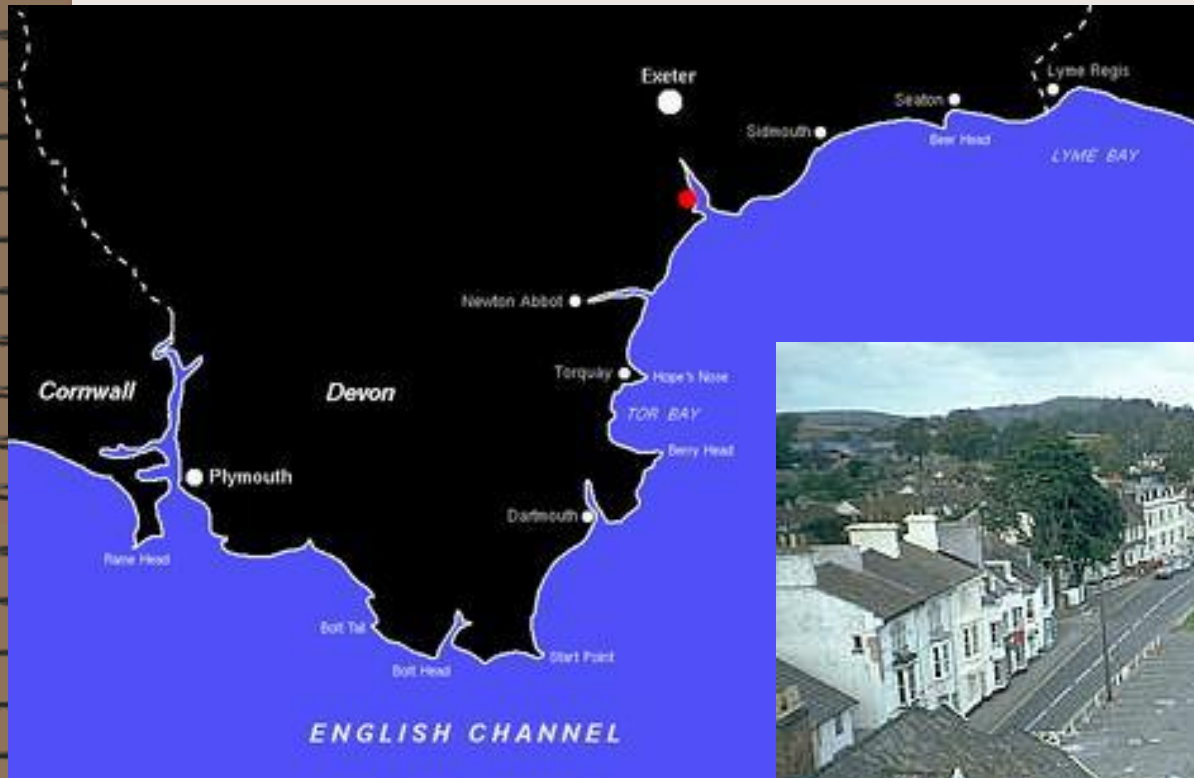
現地調査のスライドショー

2000年8月に、エクスターから25km程度、南のStarcrossのポンプステーションの調査に、出かけた。現在も建物は残っていたが、蒸気機関などはなく、地域のボート同好会の倉庫と協会事務所に転用されていた。

幸い、大気圧鉄道の資料は、50mほど離れたパブに保存されていた。

以下、写真で示す。

現地調査のスライドショー



現地調査のスライドショー



現地調査のスライドショー



現地調査のスライドショー



現地調査のスライドショー



現地調査のスライドショー



現地調査のスライドショー



現地調査のスライドショー



現地調査のスライドショー

ATMOSPHERIC SYSTEM OF TRAIN PROPULSION

Applied by Brunel to the SOUTH DEVON RAILWAY 1844-1848

In August 1844 Isambard Kingdom Brunel, the Engineer of the South Devon Railway Company (which was closely associated with the Great Western and Bristol and Exeter Railway Companies) recommended, in order to save capital outlay, the adoption of the Atmospheric System of propulsion on the South Devon Railway and the construction of the railway and works for single line working only.

The idea of the Atmospheric System was to make the pressure of the atmosphere available as a propelling force. For this purpose Clegg and Samuda patented in 1839, an apparatus of which the essential parts may be described as follows:

A cast iron pipe (on the South Devon, 15 inches in diameter) in which a close-fitting piston travelled, was laid between the rails. At intervals along the line stationary steam engines were erected to work large air pumps, whereby the air could be exhausted from the pipe and a partial vacuum created within it. To enable the piston to be connected with the carriage to which the train was attached, the top of the pipe had a continuous slit about 2½ inches wide, closed by a flap of leather strengthened with iron plates and secured to the pipe on one side of the slit. One edge of this longitudinal valve, as it was called, thus formed a continuous hinge, while the other edge, where it closed the pipe, was sealed with a composition of grease to render it airtight. A frame of iron plates about 10 feet long carried a series of small wheels, these pressed against, and so opened the longitudinal valve. A small roller fixed behind the carriage closed on the valve as it passed. The air in the pipe in front of the piston was pumped out by the stationary engines. The piston was driven forward by the atmospheric pressure behind, carrying with it the carriage and train, and leaving the longitudinal valve closed and the pipe ready to be again exhausted for the next train. Brunel's specification of the steam engines and vacuum pumps were for high pressure condensing engines fitted with double seated expansion valves, having boilers proved to 100 lbs per sq. inch and safety valves loaded to 40 lbs per sq. inch.

On the initial opening of the railway between Exeter and Teignmouth on May 30th 1846 - a year behind the contract time - the line was, in fact, worked by steam locomotives, the atmospheric plant not being ready. Atmospheric propulsion between Exeter and Teignmouth commenced experimentally in July 1847 and was brought into regular operation between Exeter and Newton Abbot (then known as Newton only) in September 1847, when steam locomotion was restricted to the Newton, Totnes and Laira sections.

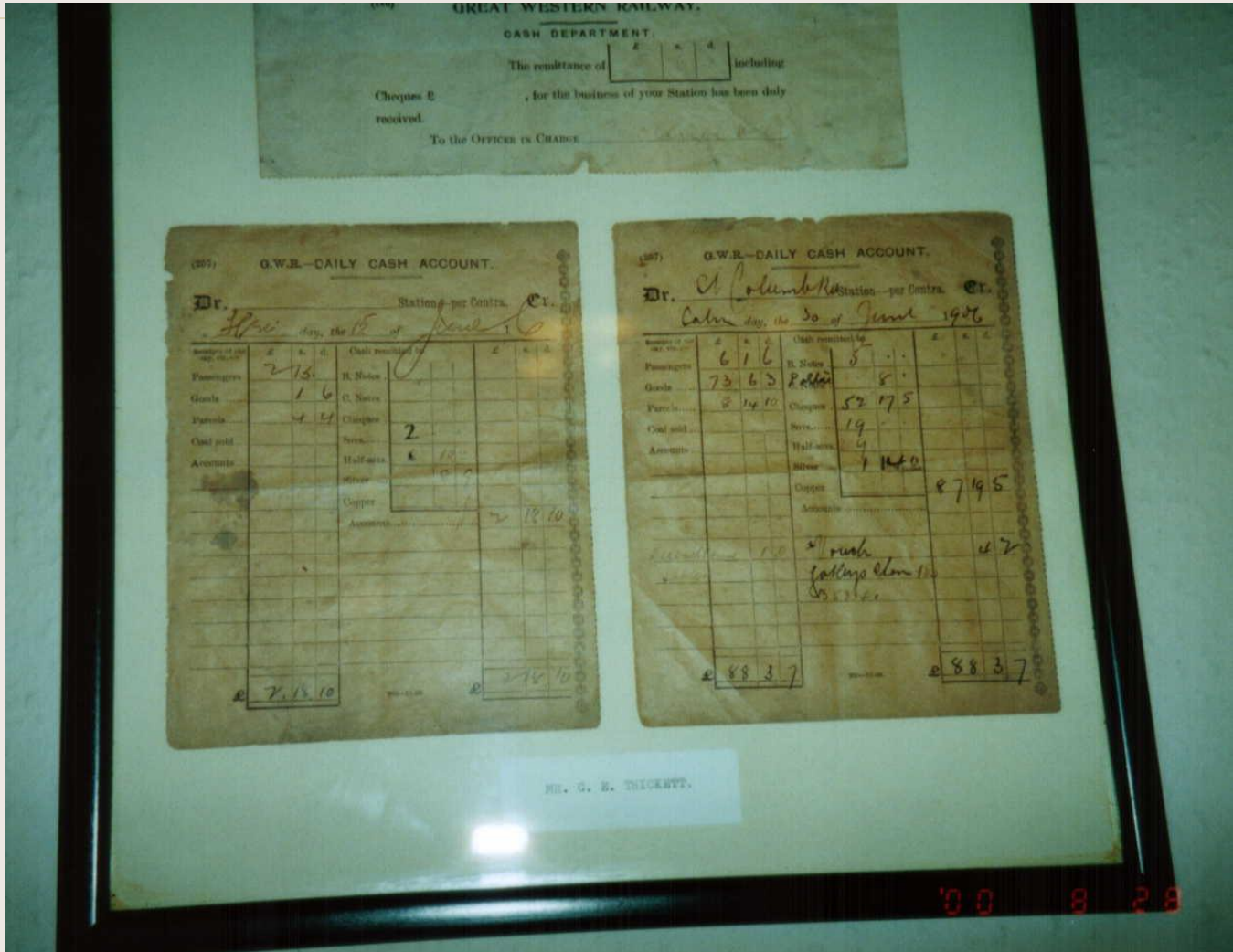
The Atmospheric System of Propulsion was not completely successful because, among other difficulties, of the perishing of the leather valves, due to bad weather conditions and through being eaten by rats. Owing to valve failures the slit at the top of the pipe was not invariably closed sufficiently airtight to allow the pumping engines to produce a vacuum condition within the pipe, which meant that they pumped in vain while the train waited helpless at the station. When the system was in working order, however, a speed from 30 to 45 miles an hour was obtained.

The system was actually in use more or less regularly between September 1847 and September 1848, when, owing to its increasing unreliability, it was abandoned on Brunel's advice and the plant sold by auction, most of it going to Edow Vale for smelting purposes.

Steam locomotion was then resumed, the locomotives being supplied by contractors (Evans & Co.) until July 1868, when the South Devon Company used their own engines. From February 1874 the Great Western Railway took over the locomotives and worked the line, the Company being amalgamated with the Great Western Company as from August 1875.

The loss to the South Devon Company on their Atmospheric experiment was some three hundred thousand pounds.

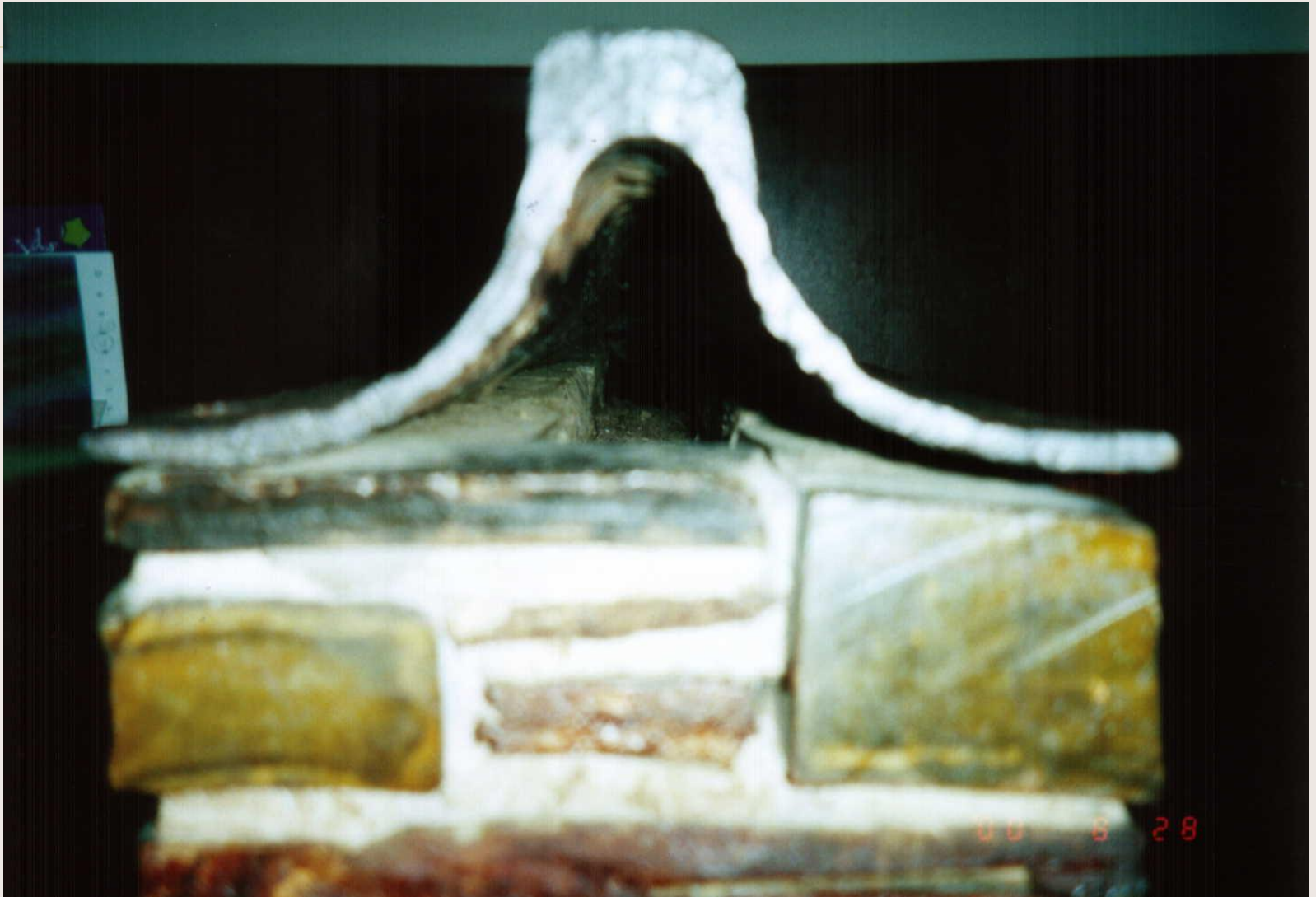
現地調査のスライドショウ



現地調査のスライドショー



現地調査のスライドショー



現地調査のスライドショー



ATMOSPHERIC RAILWAY, SOUTH DEVON RAILWAY.
By Nicholas Cundy.

Pumping Station at Starcross in MAY 1848.
just before the line was closed.

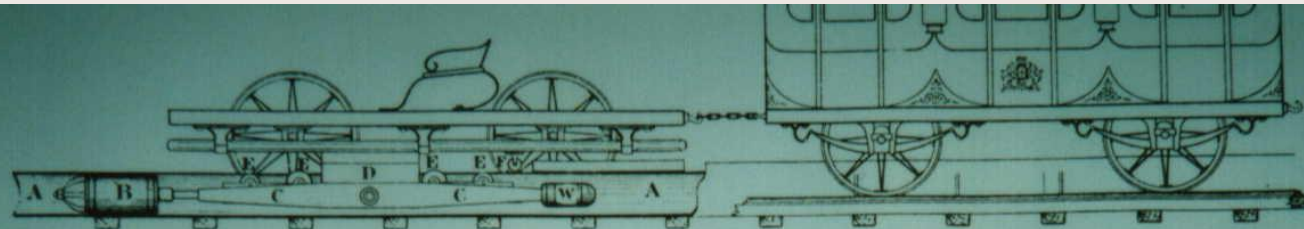
現地調査のスライドショー



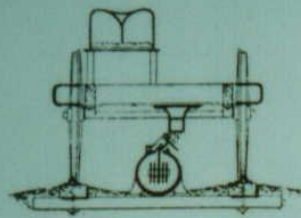
現地調査のスライドショー



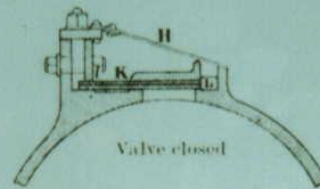
現地調査のスライドショー



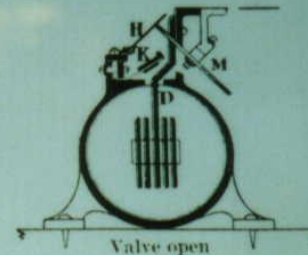
ELEVATION



CROSS SECTION



Valve closed



Valve open

DETAILS

THE ATMOSPHERIC SYSTEM

- A.A. Continuous Pipe fixed between the rails.
- B. Piston.
- C.C. Iron Plates connected to the piston.
- D. Plate connecting Apparatus to Carriage.

- E. Metal Rollers to open the Continuous Valve.
- F. Roller attached to Carriage for closing the Valve.
- H. Weather Valve.

- K. Continuous Airtight Valve hinged at I.
- L. Composition for sealing Valve.
- M. Roller attached to Carriage for opening Weather Valve.¹
- W. Counterweight to Piston.

¹ These complications do not appear to have been in use on the South Devon Railway.

3 大気圧鉄道の技術と問題

3.1 鉄道システム Fig.2～5にSDRで使用された大気圧鉄道の概観，主要構造，部品などを示す。

Fig.2 Famous drawing: Brunel's atmospheric railway which a tube is laid along rails.

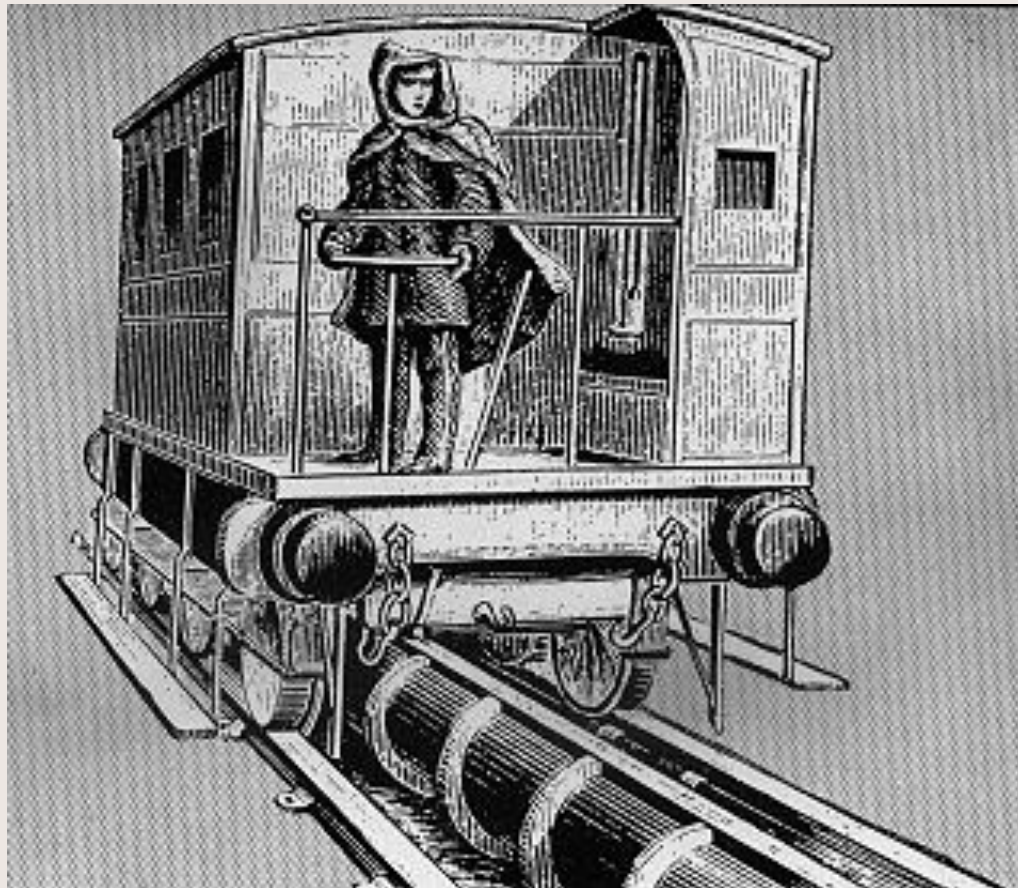
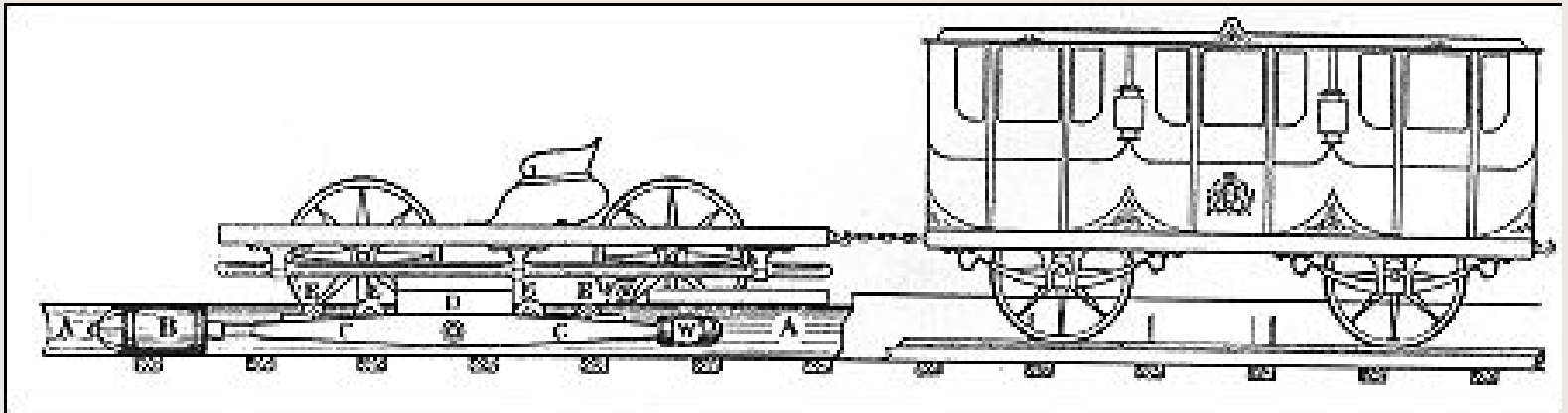
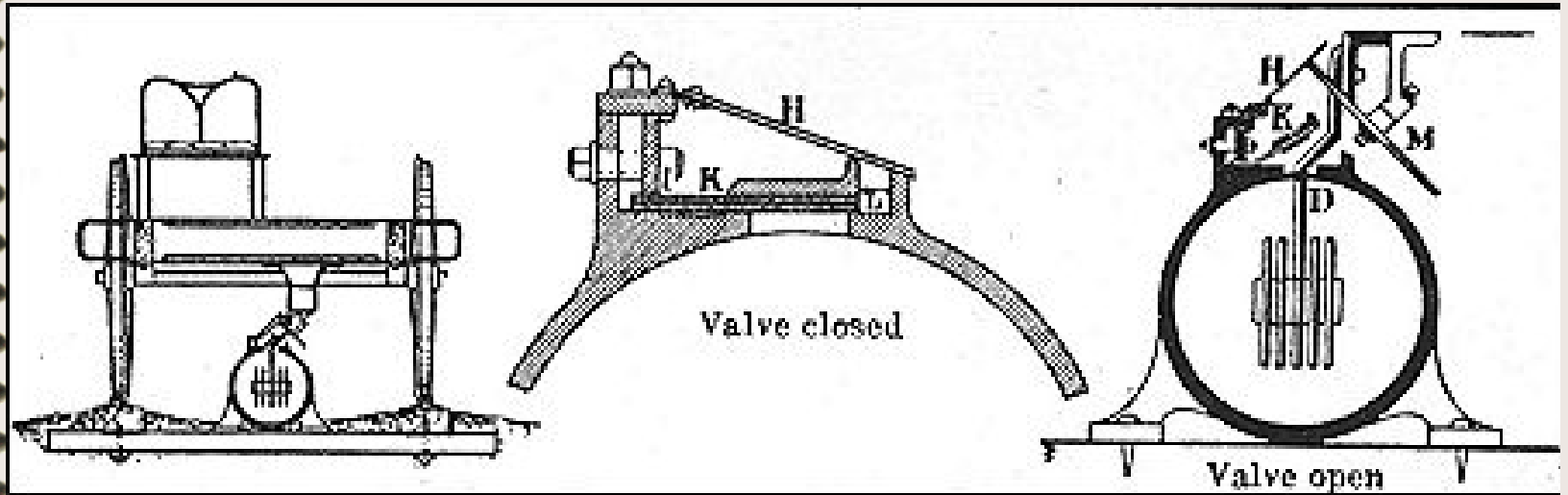


Fig.3 Atmospheric railway systems:
A: tube, B: piston, C: iron plate connected to piston,
D: iron plate connected to carriage, etc.



AA: レール間に敷設されたパイプ。B: ピストン。C
C: ピストンに連結された鉄製板。D: 牽引車に連結さ
れた板。E: 弁を開かせる金属ローラ。F: バルブを閉
じるために牽引車に付けられたローラ。W: ピストン
のカウンタウエイト。

Fig.4 Cross section view of railway and tube.
H: weather valve, K: continuous airtight valve.



H: ウエザバルブ(外部蓋)。K: ヒンジ付き気密保弁。
L: 気密弁のシール材。M: ウエザバルブ(外部蓋)を
開くためのローラで牽引車に取り付けられている。
D: 牽引車に連結された板。

Fig.5 The tube, 300mm-dia, used in the SDR's atmospheric railway having a slot of 63mm wide along its top.



3.1 鉄道システム (つづき)

実際に運転すると多くの問題が露呈した。IKBは Exeter - Newton Abbot間に敷設したパイプの直径 30cm (12in) から38cm (15in) に増加する必要が生じた。しかしこの増加がすでに設置したポンプの出力不足を引き起こした。このため設計点を越える回転速度での蒸気機関の運転は、石炭消費量が増え、運転コストを大幅に増加させた。

3.1 鉄道システム (つづき)

実際の運転では、当時は電信技術が開発中で使用できなかったのも、「車両」と「駅」それに「ポンプハウス」の三者間での相互の連絡が取れなかったのも、多くの不便と無駄が生まれた。すなわち、駅から車両が出たのか、いつ次の駅に入ってくるのかがわからなかったのも、いつでも排気し続けなければならなかったし、石炭消費量はこのことによっても大幅に増加した。

3.1 鉄道システム (つづき)

車両が駅間で故障した場合には、3等席の乗客の力を借りて押しもらった。19世紀の3等席の乗客は、汽車が故障の場合には降りて押すことが前提とされていたという。

3.2 大気圧鉄道の欠点

この大気圧鉄道の欠点の一つがパイプラインの上部に設けられた溝のシールであった (Fig.4)。シリンダ内のピストンと車両をつなぐ連結棒がこの溝を介してつながれている。駆動側のパイプのシールは皮製のフラップ弁であった。IKBはその地の気候変動への対策として鍛造製の鉄板によりウエザバルブ (weather valve) と呼ぶ弁を設計した。これは設置コストを下げるためにも用いられた。残念ながら、IKBがシールの材料として選んだ革は、海塩成分、革のなめしに用いたタンニン酸、石灰石鹼の組合せにより急速に劣化させたのだった。

3.2 大気圧鉄道の欠点 (つづき)

19世紀の中葉には革以外に有効な材料が見つからなかったため、多くの時間を費やして実験をした。その結果、革の表面にはニスを塗り、かつ鯨油とシールオイルの混合物で潤滑すると必要な耐候性と変形性を作り出すことができた。しかしこれは不幸にもネズミたちによって夜から朝にかけて食いちぎられ、立ち往生の原因となり、3等席の乗客を狼狽させたことだろう。

3.2 大気圧鉄道の欠点（つづき）

別の問題が蒸気原動所、すなわちポンプハウスそのものにも起こった。朝一番の排気でしばしば死んだネズミとさび水を吸い込む原因となった。これはエンジン操作員を悩ませた。

3.3 南デイボン鉄道SDR

この路線は、約36km（20mile）に過ぎなかった。上り線の終着に向かっては革の被害が問題となったけれども、かなり高効率で運転でき、1日に9台の客車が、Exeter - Teignmouth間で最高速度130km/h（70mph）で運転された。しかし、この鉄道システムは、成功とは程遠く、改善必須なほど高価であった。別の問題が蒸気エンジンに生じた。多くの場合、エンジンは効率的ではなかったし、石炭消費量が多かった。そしてエンジンハウスに2台のエンジンが独立に、あるいは2台同時に稼動する必要があった。これはシールの損傷に由来する蒸気漏れがひどかったからである。

3.3 南デイボン鉄道SDR (つづき)

IKBはSDRの幹部には初期投資の低い一般の蒸気機関よりも石炭消費の少ない経済的なシステムの導入を約束した。しかし設置・運転コストの面からそのシステムは2.5倍のコストになることから、1848年IKBは幹部と株主たちにNewton Abbotを越えて拡張しないことを言明せざるを得なくなった。

3.4 大気圧鉄道のその他の問題

以下のような問題があったが、その原因は本質的には、設計不良であった。

- ① レール間にパイプを埋設する必要があるために、ポイント切り替えができないこと。
- ② 同一レベルでの交差ができないこと
- ③ 前進・後退の切り替えができないこと。
- ④ 別の方向に車両を変えるためにはピストン連結棒のボルトを外し、交換して組み立てる必要があった。

4 結 言

ライバルのStephensonらは、機構的な問題を指摘し、大気圧機関を疑問視していたが、新しもの好きで挑戦者のIKBは、その特長を活かすため実験しながら大気圧機関を商用鉄道に導入した。結果は、当時の材料技術のレベルの面から成功とはならなかった。彼自身が借金を負い、また技術的な批判を受ける素材をつくってしまった。大気圧機関はロンドンやパリでも使われたが、定着はしなかった技術であった。

4 結 言 (つづき)

その後、空気圧を利用したニューマチック輸送システムとして郵便に利用されることになり、また近年は新しい都市交通システムとしてブラジルやインドネシアで利用されている。

文 献

- 1~7) 佐藤, 機講論, 号頁省略. 8) 佐藤・平塚, 機講論 (No.020-1), 425-426. 9) L.T.C.Rolt, *Isambard Kingdom Brunel*, Penguin Book (1957). 10) A.Vaughan, *Isambard Kingdom Brunel*, John Murray, (1991). 11) T.Bryan, *Brunel-The Great Engineer-*, Ian Allan, (1999).