ブルネルの大気圧鉄道に関する研究*

(第2報, 現地調査)

佐藤 建吉^{*1}, 松浦 真理^{*2}

A Study on Brunel's Atmospheric Railway (2nd Report, Field Investigation)

Kenkichi SATO^{*3} and Mari MATSUURA

^{*3} Graduate School of Engineering, Chiba University,
1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba, 263-8522 Japan

In this paper, the authors describe the report of field investigation for Brunel's Atmospheric Railway (BAR). The BAR system was organized by Isambard Kingdom Brunel (1806-1859) in England. Our field investigation was, therefore, carried out at places relating to the BAR. Starcross in Devon has preserved the historical materials of the BAR system relating to the vacuum station, Didcot Railway Centre has displayed and preserved the BAR's pipe line, and both STEAM (Museum of the Great Western Railway, Swindon) and NRM (National Railway Museum, York) have replicas of the BAR's pipe and give information about the BAR's system and Brunel. These collected materials present information about the BAR's system for making a small BAR's model.

Key Words: History of Engineering, Transportation Engineering, Fluid Power Systems, Brunel, Atmospheric Railway, Industrial Heritage

1. 結 言

前報⁽¹⁾ではイギリスのヴィクトリア女王の時代(1837~1901年)に活躍したイザムバード・キングダム・ブルネル⁽²⁾ (Isambard Kingdom Brunel, 以下 IKB と略す, 1806~1859年)が進めた大気圧鉄道 (Atmospheric Railway)とともに, 類似のニューマティック・システムも含め文献調査の結果について報告した。本論文では大気圧鉄道の更なる考証のため, イギリスの現地を訪ね, 同鉄道に関する博物館や展示物, 現存している部品や写真など, 保存されている記録を調査した結果をまとめる。

IKB は, イギリスでは今なお偉大な技術者としてその名が知られている。彼は, 吊り橋, 鉄道, 蒸気船, トンネルなどを建造した有能な土木・機械技術者であり, さらに技術的な挑戦を数多く行っており^{(2),(3)}, その挑戦の一つに大気圧鉄道がある。本論文では, ブルネルが尽力した時代の鉄道遺産としての大気圧鉄道を取り上げる。

2. 大気圧鉄道の路線

South Devon Railway (SDR) の大気圧鉄道^{(2),(3)}は, チーフエンジニアとして 1844 年から IKB が中心になって進められた。1847 年 9 月 13 日, 実験走行が始まり, 翌 2 月に開通した。走行路線は図 1 のように当初 Exeter St. Davids から Teignmouth までの 15mile (24km) で, その後 1848 年 1 月 10 日に Newton (現在の Newton Abbot) までの 5mile (8km) が延伸された。1848 年 9 月 10 日の 1 年間の後, 走行は終了された。

アイルランドの Dalkey Atmospheric Railway は, 1844 年 3 月 29 日に, Dublin (ダブリン) ~ Kingstown (キングスタウン) 鉄道の支線として, Kingstown ~ Dalkey (ダルキー) の採石場を結ぶ大気圧鉄道 (Dalkey Atmospheric Railway) として導入された。全長 1.3/4mile (2.8km) で, 1854 年 4 月 12 日に, 蒸気鉄道に置き換えられるまでの 10 年間使用された。

イギリスのロンドン ~ Croydon (クロイドン) 間の 5mile (8km) の路線で大気圧鉄道の走行実験を経て, 1845 年 11 月から営業運転が行われた。これは, 大気圧鉄道の最初の営業であった。この路線で大気圧鉄道が選ばれたのは, ロンドンから Brighton (ブライトン)

* 原稿受付 2008 年 2 月 27 日。

^{*1} 正員, 千葉大学大学院工学研究科(☎ 263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33)。

^{*2} LLP 技術史出版会(☎ 260-0834 千葉市中央区今井 2-12-1-303)。

E-mail: ksato@tu.chiba-u.ac.jp

や Dover (ドーバー) に行く蒸気鉄道の上を乗り越えて交差するため 1/50 の勾配があることもその理由の一つであった。当初は最高時速 70mile (112km) に達したが、その後エンジン・クランクシャフトの破壊やスリットの弁から真空漏れなどのトラブルが起こり 1847 年 5 月に営業は廃止された。

パリでも、その西郊外サン・ジェルマン城までセーヌ河を橋で越えて 1.4mile (2.3km) の区間において同様の大気圧鉄道が運転され、1847 年から 1860 年にわたり観光客を運んでいた。

IKB は、1844 年ごろ大気圧鉄道に関心を抱き、発明者の Clegg (クレグ) と Samuda (サムダ) 兄弟のロンドンの実験場、さらに実用されているアイルランドの大気圧鉄道をしばしば訪れ、IKB 自身も大気圧推力について実験を行った。

こうして IKB は、SDR の Exeter (エクセター) ~ Plymouth (プリマス) 間の鉄道は、大気圧方式にすべきであると主張した。当時の蒸気機関は、熱水が乗客にかかることもしばしばあったが、騒音や煤煙などの問題がない大気圧鉄道は、当時の英国首相 Robert Peel (ロバート・ピール) からも歓迎された。

1844 年に運行の認可を受けた SDR は、クレグとサムダからの大気圧鉄道の提案を受け入れ、その実施を IKB に委託した。IKB はポンプステーションを通過駅の地上部に置くことによる経済性と併せ、この区間は急勾配が多いため大気圧鉄道が特に有利であると主張した。最初の大気圧鉄道がこの路線に開通したのは 1847 年、エクセター〜プリマス間のうちエクセター〜ニュートン・アボット間であった (図 1)。

3. 大気圧鉄道の原理と構造

Fig.1 A map of the route of the South Devon Railway.

Fig.2 Picture of the atmospheric railway running at Dawish.

大気圧鉄道は、図 2 のように線路上にパイプラインを引き、その中のピストンの圧力差を利用する鉄道システムであり、列車に蒸気機関は不要で列車の牽引は駅舎に隣接したポンプステーション (定置式蒸気機関で動力を発生させ排気ポンプを駆動する) によりパイプの中を真空にして行われた。図 2 には、この蒸気機関の運転のための蒸気ボイラ用の煙突が描かれている。

図 3 と図 4 に、大気圧鉄道の牽引原理と構造を示す⁽⁴⁾。パイプライン A の中にはピストン B があり、進行方向の左側の管内空気を排気ポンプで真空にすると、ピストンの右側の大気圧が作用し、圧力差でピストンについている鋼板 C と連接板 D が移動する。D は、図 4 のようにパイプの上部に溝 (スリット) があり、これが列車の車台と連結されており、列車を

Fig.3 Atmospheric railway systems: A: Continuous Pipe fixed between the rails, B: Piston, 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, W: Counterweight to Piston.

Fig.4 Cross section view of railway and tube. H: Weather Valve, K: Continuous Airtight Valve hinged at I, L: Composition for sealing Valve M: Roller attached to Carriage for opening Weather Valve.

牽引する。このときピストンより前方のパイプラインのスリットはフラップ弁 K で密閉されており、列車走行に従いフラップ弁は跳ね上げられ、連結板がスライドし、移動後にフラップ弁はローラ F により閉められる構造となっている。

列車の駅での始動停止は、レールに併設した小径パイプライン内のピストンを圧力調整により運動操作し列車をロープにて牽引または拘束して行った模様である。走行時の緊急停止は、運転士が車輪拘束しブレーキ操作したと考えられる。

4. 大気圧鉄道の技術と課題

SDR は、20mile (32km) の路線で、蒸気機関駆動の真空ポンプは、Exeter St Davids, Countess Wear, Turf, Starcross, Dawlish, Teignmouth, Bishopsteignton, Newton Abbot の 8 ヶ所のポンプステーションに設置された⁹⁾。1847 年 3 月から、Exeter~Teignmouth 間で試験運転されたが、実際に運行すると多くの問題が露呈した。

Exeter~Newton Abbot 間に敷設したパイプの直径を 12in (305mm) から 15in (380mm) に増大させる必要があった。この増大で、すでに設置したポンプは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、結果として運転コストを大幅に増加させた。

当時は電信技術が発達しておらず、「列車」と「駅」、それに「蒸気原動所」の三者間での相互の連絡が取れず、駅から列車が出発した時間と次の駅に到着する時間がわからず、排気時間ロスが増大し、石炭消費量は大幅に増加した。そうした理由により、この鉄道システムは改善点が続出し、成功とは程遠いものとなった。が、最高速度は 70mph (112km/h) に達したという。

最大の問題点は、パイプラインの上部に設けられたスリットが空気漏れの原因となったことである。フラップ弁には牛革が用いられていた。IKB はフラップ弁の風雨や砂塵などへの対策として鍛造製の鉄板によりウェザーバルブ(weather valve)と呼ぶ開閉弁を設計した。これは設置コストを下げるためにも用いられたが、IKB がシールの材料として選んだ牛革は、海塩成分、革のなめしに用いたタンニン酸、石灰石礫の組合せにより急速に劣化していった。

19 世紀の半ばには残念ながら革以外に有効な材料が見つからなかったため、IKB はフラット弁に多くの時間を費やし実験を行った。その結果、革の表面にニス塗り、しかも鯨とアザラシの油を混合して潤滑することにより、必要な耐候性と可撓性を作り出すことに成功した。しかし、この革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、真空漏れが生じ列車が立ち往生する原因となった。この問題はポンプステーション(蒸気原動所)そのものにも起こった。ポンプステーションは、朝一番の排気時には、しばしば死んだネズミとさび水を吸い込み、エンジン操作員を悩ませたという。大気圧鉄道の走行については、ほかに次のような問題が指摘された。

- ① レール間にパイプを埋設する必要があるため、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 別の方向に列車を変えるためにはピストンを連結するプレートのボルトを外し、交換して組み立てる必要があること。

5. 現地調査

大気圧鉄道の現地調査として、走行路線の SDR のポンプステーションのあった Starcross, IKB の鉄道事業の中心路線であった GWR の操車場 Didcot と鉄道工場 Swindon にある博物館、さらにイギリスの鉄道博物館の代表である York (ヨーク) の NRM を訪ねた。

5.1 Starcross の Atmospheric Inn での調査 2000 年 8 月、大気圧鉄道が実際に運行されていたエクセター〜ニュートン・アボットの間にあるスタークロス のポンプステーションを訪ねた(図 5)。ポンプステーションは、図 2 と同じく Exe 河口に面している。現在そのポンプステーションは、地元の沖釣りクラブの倉庫として使われている。当時の面影は、イタリア式様式の煙突の一部に見ることが出来る。

このポンプステーションから約 80m 程度離れた線路沿いに Atmospheric Inn を見つけた(図 6)。内部には大気圧鉄道にゆかりの写真やパネルが貼られている(図 7~10)。図 7 は、その左右のメニューの間にあるのは IKB の写真である。図 8 は、ポンプステーションが一時、教会として転用されていた時の写真である。図

Fig.5 Atmospheric pump station at Starcross

Fig.6 Atmospheric Inn near pump station

Fig.10 Dining area bounded by rail inside the inn

Fig.7 Panels displayed inside Atmospheric Inn

Fig.8 Panels displayed inside Atmospheric Inn

Fig.9 Panels displayed inside Atmospheric Inn

9は、このInnに掲げられているポンプステーションの当時の絵画である。他に興味深いものに、当時のレールを用いたダイニングエリアの仕切りである(図10)。それは、IKBの軟地地盤用のレールで、ブロードゲージ(2140mm)のSDRの面影を残している。

Starcrossは、Exe河口に面しており平坦であるが、その河口側には丘陵地が広がり、勾配のある路線となる。大気圧鉄道は1848年には廃止されたが、その後蒸気鉄道に置き換えられ、現在では同じ路線をディーゼル列車が走っている。

5.2 Didcot Railway Centre 2004年12月、大気圧鉄道に使われているパイプが展示されていると聞き、Didcot Railway Centreを訪ねた。同鉄道センターは、ロンドンPaddington駅からGWRで40分のDidcot駅に隣接しており、当時はGWRの機関庫だったところである。1932年に開設されたこの博物館は、GWRの蒸気機関、客車、鉄道設備、建築などの資料を収集し、IKBに由来するGWR関連品の資料が、展示・保管されている。Rail Centreの最も奥に、大気圧鉄道のパイプが線路上に野外展示されている(図11)。

パイプは、勾配のついたブロードゲージの軌道の中央に設置されている。ブルネルの大気圧鉄道の路線は、Newton Abbotからは丘陵地帯に入り、登り勾配となる。この写真からは判りづらいが、Dainton Bankは最大1/36の勾配があったので、これを模して傾斜した軌道をつくり、その上に据えたものである。このパイプの直径は傾斜地用の22in(56cm)である。展示されているパイプをみると、3つの補強用ハブを持った長さ約10ft(2.5m)のパイプが一体鋳造されている。図11からわかるように、展示品のパイプは、3つの鋳造パイプが3連結されている。パイプ同士はいんろう継ぎ手としてはめ合わされる構造となっている。

なお、大気圧鉄道の失敗の原因となった真空漏れ(パイプ頂部のスリットと革製弁におけるシール不十

Fig.11 Atmospheric Railway's pipe displaying in the Didcot Railway Centre.

Fig.13 A relief made with atmospheric railway's pipe, Swindon.

Fig.12 The pipe, 560mm-dia, used in the SDR's atmospheric railway having a slot of 63mm-wide along its top.

Fig.14 A side view of atmospheric railway's pipe, Swindon.

分)について形状・寸法, 構造的な面からの詳しい調査は, 図12のように展示されているパイプの腐食が進行しており, 実施することはできなかった。

5.3 STEAM, Museum of the GWR, Swindon Didcotから列車で西に20分のところにあるSwindonはGWRの鉄道工場により繁栄した町で, 工場が開設された1843年から閉鎖された1986年までGWRの主要な機関車, 貨車が製造された。Swindon市とGWRは1962年, 鉄道工場閉鎖後に鉄道工場の偉業を伝える目的で鉄道博物館を開設し, その後2000年6月, 鉄道博物館はSTEAM^{*} Museum of the Great Western Railwayとしてリニューアルオープンした。STEAMの魅力はIKBの偉業と対面できることであり, GWRの多くの史料を調査できる。今回は, IKBのブロードゲージ(7ft1/4in=2140mm)のレールや, 大気圧鉄道でのパイプの模型を調査した。

図13は, 大気圧鉄道のパイプをレリーフにしたもので, パイプ直径は22inである。飾られている写真は, ポンプハウスのあったDawlishの海岸線を走る大気圧鉄道の絵画である(1887年ごろの作品, 図2に示したものと同一)。これには, 9両も連結されている客車がゆっくりと走っている様子が描かれている。

図14は, パイプの切断模型で, いんろう部, 固定脚,

頂部の弁取付け穴などわかりやすい展示品である。これは室内に展示されており, 劣化が進んでおらず, いんろう継ぎ手のなどの様子を観察することができる。

5.4 National Railway Museum, York York駅の裏口に直結するNRMは, 鉄道ファンにはよく知られている国立の鉄道博物館である。NRMの広大な収蔵倉庫の中の壁に, 大気圧鉄道のレリーフが展示されている(図15)。このレリーフの中に収められているメモと写真はSwindonのそれとは異なり, 大気圧鉄道の原理や構造(図3, 4), パイプの構造, そしてパイプが転用された様子が含まれている。

図16はその中に組み込まれている写真の拡大で, 図11, 12のパイプが, SDRでの事業終了後に転売されDavonのPaignton近くのGoodrington砂浜で排水用パイプとして使われていたことを示す写真とコメントである。

6. 現地調査結果

大気圧鉄道は, IKBが当時取り組んでいた蒸気鉄道の革新の一つであった。ゲージ幅2m以上の超広軌鉄道による高速・安定・大量輸送という概念を活かしたGWR, そして煤煙や騒音がなく急勾配を走行できる大気圧鉄道によるSDRは技術革新に対する偉大な挑戦

Fig.15 A relief made of atmospheric railway's pipe of NRM, York

Fig.16 A photograph of atmospheric railway's pipe used for draining which set in the panel in NRM, York.

であった。現地を訪ねると IKB のそうした足跡を感じることができる。

スタークロスで現存するポンプステーションが教会や地域のサークルの所有となり、現在は保存建築 Grade I に制定され⁽⁴⁾、関連資料は民間のバブに保存されている。また Didcot は野外展示が基本で、IKB の大気圧鉄道のパイプラインとともに超広軌と標準軌の混合軌道も敷かれており、IKB の由緒を知ることができる。Swindon にある STEAM は IKB の鉄道の専門の博物館で、York (ヨーク) の NRM はイギリスの鉄道博物館の代表として、ともに大気圧鉄道の展示に力を注いでいる。

産業遺産は、今日につながる技術の歴史を伝える証拠であり、それを通して当時の社会状況を知ることが可能である。IKB の大気圧鉄道は鉄道の常識にしばられることなく、技術的な難問に挑戦した産業遺産として評価できる。IKB の偉大さは、そうした挑戦心と、それを実現する企画力と実行力にあり、その根本にあるのは秀でた技術力と設計力であった。

しかし、大気圧鉄道を実現する耐摩耗性材料や鉄道通信などの周辺技術は、IKB の死後になって大成したので、かれの事業は失敗したのであった。それは IKB

が時代を先取りしすぎた結果であるとも言える。イギリスの人々は、IKB のそうした気概を誇りにしており、鉄道博物館や科学技術博物館に過去の技術の資料を残し産業遺産として語り伝えている。

著者ら⁽⁵⁾は、日本のものづくり、技術分野への関心を引き出すためには、身近な施設としての博物館の存在が重要であるとし、各地域の博物館を拠点とするエコミュージアムの必要性和その普及の重要性を強調している。現地調査の結果、IKB の挑戦心あふれたエンジニアとしての存在、また技術分野に刺激を与える事例として、IKB と大気圧鉄道はエコミュージアムの対象として最適であることを再認識し、結論づける。

7. 結 言

ブルネルの大気圧鉄道に関するイギリスでの現地調査を行い、以下の点が明らかにされた。

① 大気圧鉄道のパイプには、平坦地用の 15in (380mm) 径のほか、急勾配用の 22in (560mm) 径がある。材料は、鋳鉄製でいんろうで連結される。パイプのフランジは、補強と基礎への固定を兼ねている。

② 大気圧鉄道の廃線後に一部のパイプは、排水管として流用されたが、その証拠となる写真が確認された。そのパイプのカットモデルはレリーフとして加工されており、19 世紀の鉄道技術であるブルネルの大気圧鉄道を朽ちることなく後世に伝えている。

③ イギリスでは民間公共ともに、大気圧鉄道を産業遺産として保存と展示し、地域の誇りとしている。

④ 現地で得た写真や資料により、走行する小型の大気圧鉄道模型を設計製作、設置し、わが国にブルネルの人物と事績を伝えるエコミュージアム活動を遂行したいと考えている。

文 献

- (1) SATO, K., SHIRAI, Y. and MIZOKAMI, S., Study on Brunel's Atmospheric Railway, Part I: References Survey, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol.74, No.746 (2008), pp.2418-2422.
- (2) Brunel, I., *The Life of Isambard Kingdom Brunel, Civil Engineer*, pp.105-132, (1870), Nonsuch Pub.
- (3) Christopher, J., *Brunel's Kingdom in the footsteps of Britain's great engineer*, (2006), p.143, Tempus.
- (4) Forrester, R. A., *What was an Atmospheric Railway?*, Admin Service; reproduced from Clayton Howard, *The Atmospheric Railways*, (1966), Lichfield.
- (5) Matsuura, M. and Sato, K., Brunel's Steam Museum STEAM and Public Education and Exhibition, *Proceeding of the JSEHT*, pp.22-24 (2005).