

空気圧鉄道 Aeromovel の現地調査

佐藤 建吉 (千葉大学)

Site Investigation of Aeromovel in Jakarta

Kenkichi SATO

Chiba University, 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba

In 2009 the author visited the Taman Mini Indonesia Indah for investigating a unique railway system “Aeromovel”. Aeromovel was invented by Oskar H.W. Coesterr, Brazilian aerospace engineer, and patented in 1980s. The propulsion principle of the railway system is similar as sailing ship: *i.e.*, a plate in a pipe line is pushed by pressurized air. Aeromovel is a reversed type of the atmospheric railway of Isambard Kingdom Brunel which was propelled by vacuum pressure in the pipe line. Taman Mini Indonesia’s Aeromovel has been running since 1989. In this paper, the author describes the detail of Aeromovel using its pictures and figures for showing design, structure, mechanism, and size and dimensions. Aeromovel and atmospheric railway system are eco-friendly transportation system and there are plans to install systems for airport access in Brazil and for sightseeing access in Japan.

Keywords : pneumatic system, Aeromovel, atmospheric railway, pressure difference, vacuum

1 はじめに

筆者は、19世紀の英国のエンジニア、イザムバード・キングダム・ブルネル Isambard Kingdom Brunel (1806-1859)の技術史—その人と生涯、業績と時代—について1999年から研究し、10年になる。今年、ブルネルは没後150周年にあたる年であり、その記念として多くの方にブルネルの人と生涯について知って頂くために、ブルネルの蠟人形を制作した。ブルネルの業績で筆者と日本機械学会ブルネル研究会が特に興味を持って研究テーマとして活動している¹⁾のは、空気圧鉄道である。

空気圧鉄道²⁾は、英国の南西部のエクセターからスタークロスまで約30kmの距離を、1847年から1848年の半年間だけ商業運転された走る蒸気機関を持たず、動力源は駅に隣接して設置されたユニークな蒸気鉄道であった。その蒸気機関の役割は、真空ポンプを駆動するためであった。それは空気圧鉄道の推進が、線路上に敷設されたパイプラインの中にピストンを入れ、ピストンの前方を真空に、後方を大気にさらすと、ピストン前後の圧力差によりピストンに生じる推進力を利用しているからである。この空気圧鉄道は、ブルネルの提案により南デーボン鉄道会社として運営されたが、ピストンの推進力をパイプの外に導くためにピストンにスリットが必要で、その部分からの真空漏れを防ぐ弁の機構と材料(皮製)の問題、推力増加のためのパイプ直径の大型化や列車位置を教える通信システムの未整備による石炭消費の増加による経済問題、天気・気候に対するメンテナンス問題など、19世紀における技術レベルの限界により空気圧鉄道は失敗に終わったのであった。

しかし、今日では、優れた耐摩耗材料、軽量高気密なシール技術、簡便で容易な通信システム、高性能高効率の真空ポンプ、太陽・風力・水力・温度差などの自然エネルギー利用、環境に優れた未来型鉄道、観光鉄道のほか、地域活性、理科・技術教育など多くの局面からブルネルの空気圧鉄道の復興の可能性をあげることができる³⁾。

本報では、ブルネルの空気圧鉄道と同じく空気の圧力差を利用して推進する鉄道が、インドネシアのジャカルタにあるテーマパーク Taman Mini Indonesia Indah(タマン・ミニ・インドネシア・インダー)で実用されているので、その現地調査を行ったので以下報告する。その目的は、上述のブルネルの可能性を進めるためにその実用例を知ることと技術的概要を知ることにある。

2 Taman Mini Indonesia Indah の空気圧鉄道 Aeromovel について

2.1 Taman Mini Indonesia Indah について

インドネシアの首都ジャカルタの南西部に Taman という地区があり、そこにインドネシアの歴史、地理、民族、伝統などを展示する観光施設として Taman Mini Indonesia Indah があり、その施設内を移動する小型鉄道として、本報で取り上げるニューマティックシステムのアエロモベル Aeromovel(筆者が呼称する空気圧鉄道)がある。Aeromovel の一周距離は3.2kmである。

Taman Mini Indonesia Indah は『地球の歩き方⁴⁾』にも紹介されて、日本人も年間何万人も訪ねているそうであるが、Aeromovel に関心を示す人は少ないという。以下に紹介する。「100ヘクタールを超える広い敷地に再現したテーマパーク。中央の人造湖には国土をかたどった小さな島々があり、その周囲にはインドネシアを構成する全集のパビリオンが並んでいる。……」。『地球の歩き方』では、Aeromovel はモノレールとして標記されているが、これは正しくはない。

2.2 Aeromovel の開発

Aeromovel を商標とするニューマティックシステムは、ブラジルの航空エンジニア、発明家の Oskar H.W. Coesterr により、空気圧鉄道の改良版として発明、開発された⁵⁾。1980年代に特許が取得されている。アメリカの Aeromovel 社が開発した。同社の web には、その経緯が紹介されている⁶⁾。

2.3 Taman Mini Indonesia Indah の Aeromovel

2009年8月6日に、ジャカルタの現地を訪ねた。この日は、Aeromovelは運転しておらず走行乗車はできなかったが、駅に停車している車両内部、駅舎、軌道、運転室、空気圧送管などについて現地技術者と施設広報担当者から聞くことができた。

車両は、2両編成である(図1)。全長3.2kmの軌道は、地上から高さ6mにあり(図2)、圧縮空気は幅と高さが1mの矩形断面をもつコンクリート製パイプライン(図3)を含んでいる。図4の車内に掲示された写真のように、周回するルートには6つの駅(丸印)が設けられている。現地で受領した資料⁷⁾から主要な仕様を以下に記す(表1)。この表は1両分であるので、重量と乗車数は2倍になる。

2.4 構造と性能評価

前述のようにAeromovelは、ブルネルの大気圧鉄道を参考に、管内の真空化による大気圧との気圧差を利用した推進力を、逆に圧気化(圧縮空気化)による大気圧との気圧差を利用して推進力を得る方法に改変されている。両者の比較については後述する。

図5は、両面開きの車両入り口である。乗り込むと、図6のようにプラスチック製ボックスシート(4座×10、2座×4)があり、乗車定員は表1のようである。前後とも遮る運転席が無いのでパノラマカー風である。(図7)。

車両の下には、空気圧がつくる推進力を車体に伝える接続板があり、図8のようにスリット部を覆うゴム製のパッキンを開きながら進む。そのパッキンは、ゴムタイヤのような厚さで帯状をしており、変形しやすいのでシール性も保持でき、簡単に優れた設計である(図9)。

表1 Aeromovelの主要な仕様

| | | |
|---------|--------------------------|---------------------|
| 機能 | 最大速度 | 70km/h |
| | 最大加速度 | 1.3m/s ² |
| | 通常減速度 | 1m/s ² |
| | 緊急減速度 | 2 m/s ² |
| 重量 | 空車時 | 8,700kgf |
| | 通常時 | 24,105kgf |
| | 混雑時 | 28,200kgf |
| 平常時乗車定員 | 座席定員 | 48人 |
| | 立席定員(6人/m ²) | 189人 |
| | 総乗車定員 | 237人 |
| 混雑時乗車定員 | 座席定員 | 48人 |
| | 立席定員(6人/m ²) | 252人 |
| | 総乗車定員 | 300人 |



図3 コンクリート製矩形パイプライン



図1 正面駅(高架)と車両全景(2両編成)



図4 車内掲示の路線図(6駅あり)



図2 コンクリート製橋脚(高さ6m, 幅0.7m)



図5 Aeromovelの入り口



図6 車内ボックス席(4座×10, 2座×4)



図10 ブルネルの時代にはなかった車両位置検知センサ



図7 前面写真



図11 操作盤



図8 スリットを通る接続板



図12 ポンプ室と駅下の空気管



図9 線路軌道(レールとスリット)



図13 空気の排気口(左), 吸気口(右)

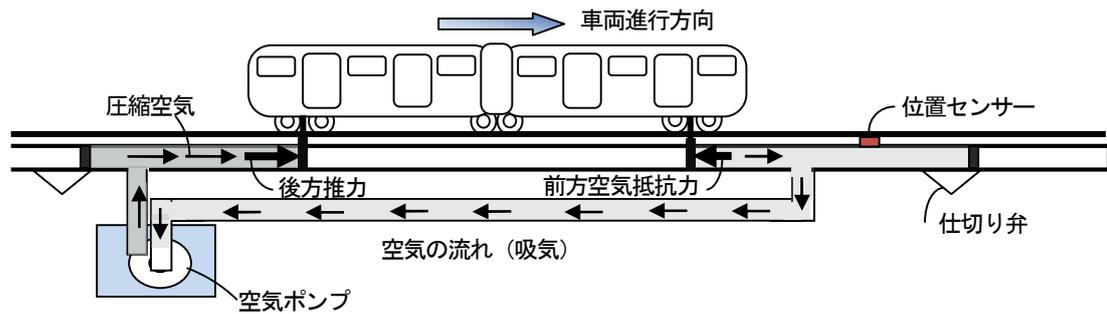


図14 Aeromovel の出発時の空気の流れ(模式図)

軌道上には、図 10 のように 25m 間隔でスピードセンサーが設置されており、その位置情報とともに、制御室で速度制御、すなわち空気圧制御が行われる(図 11)。圧縮空気源は、6 つの駅の近くに設けられた 5 箇所のポンプ室である。図 12 はその例で、駅、空気ポンプ室、空気輸送管の様子である。図 13 は、車両を加速、減速させるために空気圧を調整するために設置されている空気の排気口、吸気口である。これは、位置センサーの情報に基づき、制御室で自動や手動で開閉される。

図 14 には、駅での出発時の空気の流れを模式的に示した。車両の下に取り付けられた 2 枚の弁板は、帆船の帆に相当し、後方の高圧側の推力により前進(右側へ)するが、前方には空気があり、その抵抗力を受ける。これを小さくするために、空気ポンプの吸気側に結ばれ、推力を強くしている。停止時は、前後の弁板に空気圧を掛け圧力差を小さくして減速させる。レールと車体には、摩擦ブレーキもあるが、緊急時や駐車時に使われる。

車両に位置が移動するとパイプラインは仕切り弁でゾーニングされて圧縮空気の領域が移動する。図 14 の右側の仕切り弁は開けられ、また吸気側の管路は、パイプライン側とは閉じられ(図 14 ではその弁は省略している)、大気から吸気され、後方の推力で走行する。車両位置は位置センサーにより検出され、仕切り弁の開閉、稼動空気ポンプの順次交替が行われ、車両は走行される。

表 1 から混雑時において 2 両の重量を 60 トンとし、総合摩擦係数が 0.1 の場合、6 トンの推力で走行できる。これは、 1m^2 の弁板面積(受圧面積)の場合、0.6 気圧の圧力差、すなわち 1.6 気圧の高圧空気となる。ただし加速や減速時には、大きな空気圧推力が必要となる。例えば、60 トンの重量(質量)の車両を、 1m/s^2 で加速(減速)するには 60 トン以上の空気圧推力(以下の空気圧制動力)が必要である。これは、圧力差 6 気圧に相当し、かなり大きい。したがって摩擦ブレーキの必要性がここにあるが、表 1 の仕様は空車についての加速度、減速度であるとすれば、圧力差は 2 気圧程度でよく、妥当であろう。

3 おわりに

本報では、ブルネルの技術史研究に端を発して、調査するとニューマティックシステムとしての空気圧鉄道(商標名、Aeromovel)の商業運転利用を知り、最近行ったその現地調査の結果をまとめた。今回の現地調査では、走行中に乗車することはできなかったが、実際の車両を見て、その構造や機能について、写真などを示し説明した。Aeromovel は、走行原理と構造が簡単で、低速走行を前提とした小規

模交通システムとしては優れていると思われる。その特徴を以下に示す。

- ① 矩形断面をもつパイプラインに圧縮空気をポンプで圧送し走行する鉄道である。
- ② 圧縮空気の圧送する方向を変えると、前進、後退が可能である。
- ③ 軌道上には位置センサーを設置し、空気圧の制御と、空気圧を負荷する領域設定(ゾーニング)を制御室で行っている。
- ④ インドネシアのテーマパーク Taman Mini Indonesia Indah で 1989 年から運転されており、20 年の実績をもつ。
- ⑤ Aeromovel は、ブルネルの大気圧鉄道と同様に、移動するエンジンを持たないので軽量であり、また空気を対象にしており環境面で優れている。さらに、構造が簡単であるので設置、運転コストがともに低い。
- ⑥ Aeromovel の開発地であるブラジルのポルトアレグレ (Porto Alegre) では、現在、空港のアクセスとして敷設する計画があり、今後、多くの都市で利用される見込みがある。
- ⑦ ブルネルの大気圧鉄道のように真空にして推進力を得る形式は、空気抵抗が少ないので、高速走行に向くと考えられる。

文献

- 1) ブルネル研究会活動報告, <http://www.jsme.or.jp/tsd/kenkyukai.html>
- 2) 佐藤・松浦, ブルネルの大気圧鉄道に関する研究, 日本機械学会論文集(C 編), 74 巻 746 号(2008-10), 2423-2428, (2008 年)。
- 3) 佐藤・与儀・鈴木, ブルネルの大気圧鉄道の技術と貢献, 日本機械学会関東支部第 13 期総会講演会講演論文集, 169-170, (2007 年)。
- 4) 地球の歩き方編集部, 改定第 17 版第 1 刷り, ダイアモンド・ビッグ社, (2009 年)。
- 5) http://pt.wikipedia.org/wiki/Oskar_H.W._Coester
- 6) Aeromovel 社 HP, <http://www.aeromovel.com/index.htm>
- 7) 私信, Aeromovel Indonesia, 4 ページ。
- 8) http://www.trensurb.com.br/php/estudos_projetos/aeromovel.php