

空気鉄道 AEROMOVEL による地域のモビリティへの変革

佐藤 建吉 (一社・洸楓座 & 一社・efco.jp)

Innovation on Regional Mobility by the new APM "AEROMOVEL"

Kenkichi SATO (Socio-Engineer)

Kofuza (GIA) and efco.jp (GIA)
1-5-5, Shinbashi, Minato-ku, Tokyo, 105-0004 Japan

The present paper summarizes the story of the birth and growth of Aeromovel, which is an environmentally friendly urban transport system. The system of Aeromovel was conceived in the mid 1970's. The system consists of vehicles travelling on an elevated guideway. The main difference between Aeromovel and the more conventional automated people movers or monorails resides on its pneumatic propulsion. A high-speed airflow, generated by stationary units located along convenient intervals, acts on the blocking surface of propulsion plates rigidly connected to the vehicles. The speed of the vehicles is determined by air pressure differential which is controlled by means of valves located at generator units and along the guideway. Aeromovel has been successfully used in Indonesia and Brazil. Aeromovel, as the new automated people mover (APM), will be able to make the innovation on regional mobility soon.

Key Words : Aeromovel, Brunel, Atmospheric Railway, Pneumatic Propulsion, Automated People Mover (APM)

1. 緒 言

「空気鉄道」は、宮澤賢治の「銀河鉄道」と同様に魅惑的で非日常的な「鉄道」を思い起させる。「空気鉄道」Aeromovel は現実に稼働している鉄道であり、空気を推進力としているがゆえの呼び名である。その名前から、ヨットのよう自然風を受けることを想像されるかもしれないが、本題の「空気鉄道」Aeromovel は、パイプラインの中に嵌めたピストンの前後に空気の圧力差を作用させたときピストンに生じる力を推進力とする鉄道を意味している。

この鉄道の最も代表的なものには、英国の南西部 Exeter から Newton Abbot までの海岸線を 1847 年に走った Atmospheric railway (「大気圧鉄道」) を挙げることができる。それは、ブルネル (Isambard Kingdom Brunel, 1806-1859) が、総距離約 30km にわたり商業運転した南デーボン鉄道 (South Devon Railway, SDR) である⁽¹⁾。この鉄道では 8 か所にポンプステーションという蒸気原動所を設け、パイプラインを減圧 (真空) にしてトップデータで最高速度 100km/h を超える走行を行ったという。しかし、大気圧鉄道の推進機構で重要なパイプライン内のピストンに生じた推進力をその外に伝えるためパイプラインにはスリットを設け、その間を接続板がピストンとともに移動できるように設計されたが、当時はパイプライン内外で気密を保持するにふさわしい有用な耐摩耗材料がなかったり、また列車の走行位置をポンプステーションに知らせるが通信システム手段がなかったため、商業運転はわずか半年で終了した。

本題で取り上げる Aeromovel は、1960 年代にブラジルの実業家であり発明家のオスカー・コエスター (Oskar Hans Wolfgang Coester, 1938-) によって開発・指揮された「空気鉄道」である。ブルネルの大気圧鉄道ではパイプライン内にあるピストンの前方を減圧し真空にし、その前後に圧力差を生み出す方式であったが、オスカーの Aeromovel では大気圧鉄道の事例をヒントとし、それと比較するとパイプライン内にある平板矩形のピストン後方に圧縮空気を送り、後方を高圧、前方を低圧とした圧力差により推進力を得る推進方式を採用している。Aeromovel は、1982 年にブラジルの Porto Alegre で実験路線を建設したが、1986 年にはインドネシアのジャカルタの Taman

Mini Indonesia Indah（インドネシアの民族文化の観光センター）で商業運転され、その後、今日まで稼働している⁽²⁾。約30年後の2013年には、コンピュータ技術を取り入れ、デザインも刷新した車両による最新のAeromovelが、ブラジルの空港ターミナルから在来鉄道線の空港駅までの約1kmを「空気鉄道」として商業運転されている。本稿ではそうした内容について述べる。

2 AEROMOVEL の開発

2・1 ブラジル、ポルト・アレグレでの開発

Aeromovel を商標とするニューマティックシステムは、ブラジルのオスカーにより、ブルネルの大気圧鉄道の改良版として発明・開発され、1980年代に特許が取得されている。オスカーはAeromovel社をアメリカに創立し、出身国のブラジルで実験プロジェクトを興し、その成果から1989年以来インドネシアでAeromovelを実用化している。

Aeromovelの開発は、1976年に始まったが、当時は長さ30mの軌道上で一両の模型車両で行われた⁽³⁾。1979年からはブラジルの公的機関の参加により、長さ550mの実験線(曲率半径15m, 登坂勾配5%)で、16人乗りの車両で試験走行が行われた。1981年からは、実用スケールの軌道で、150乗り車両を用いて試験が行われた。1982年には1060mの実験線がポルト・アレグレに計画され、1984には650mの距離が完成した。そのころ日本のTV取材チームが現地撮影し、『なるほど・ザ・ワールド』で紹介された。図1にはオスカーと1977年に実験した当時の車両を、また図2にはAeromovelの開発の歴史を、写真で示す(Aeromovelの駅の壁に掲示されている)。

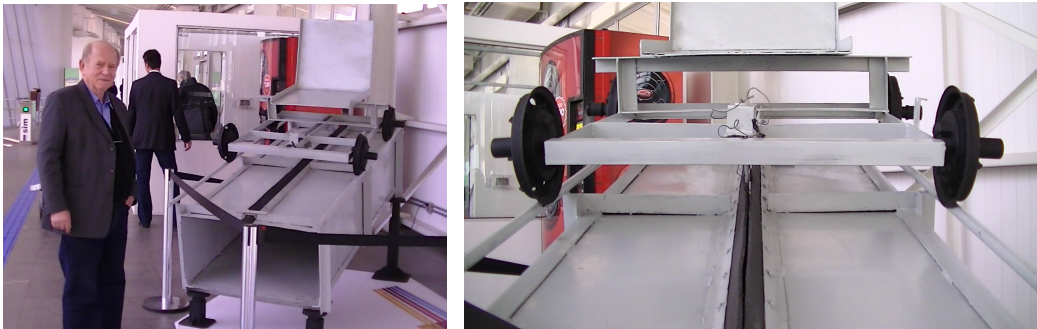


Fig.1 Mr. Oskar Coester standing by the fist experimental model of 30m length truck.

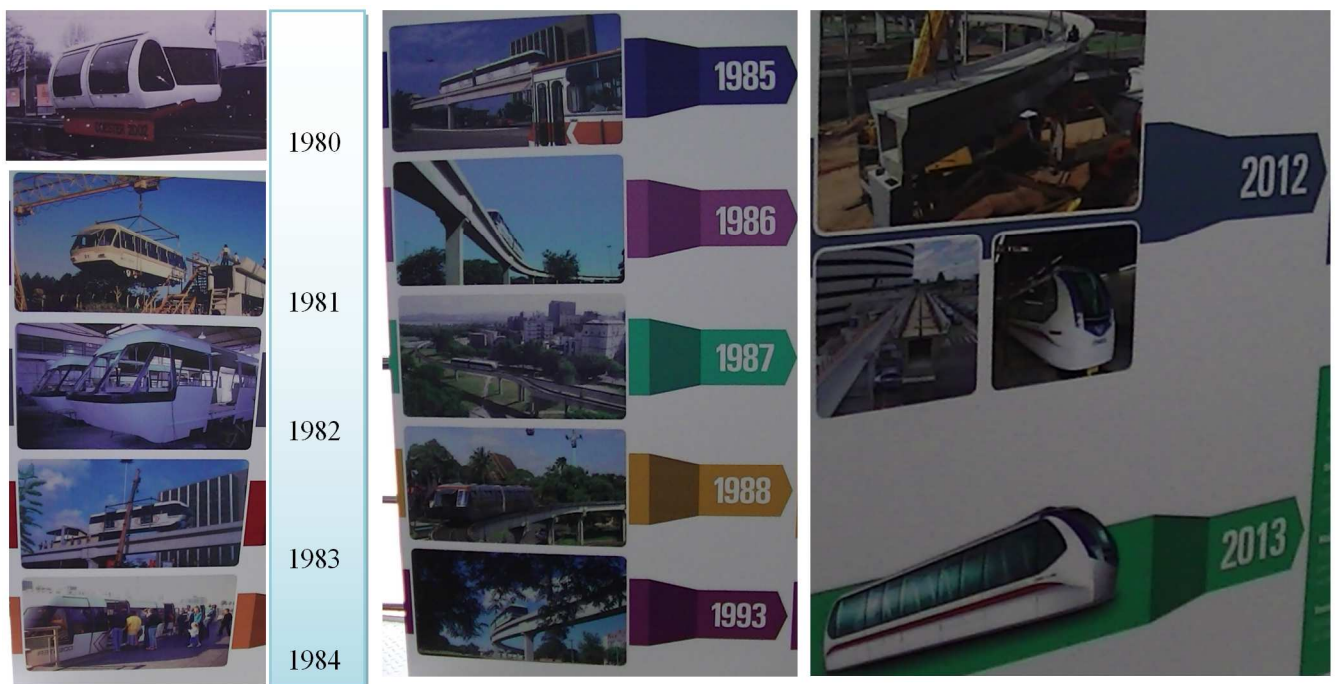


Fig.2 Aeromovel's panels showing its development history.

2・2 インドネシア・ジャカルタでの AEROMOVEL の走行

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 (タマン・ミニ・インドネシア・インダー) がある。観光ガイドブック『地球の歩き方』では、「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。……」として紹介され、年間数万人もの日本人が来場している。その施設内を移動する小型鉄道として、Aeromovel が設置されている。その一周路線距離は 6 駅、3.1km である。『地球の歩き方』で Aeromovel は“モノレール”と表記しており、これは正しい紹介とは言えない。

著者は 2009 年 8 月 6 日、ジャカルタの現地を訪ねた。駅に停車している車両内部、駅舎、軌道、運転室、気送管(パイプライン)などについて現地調査した。車両は、2両編成である(図3)。全長3.1kmの軌道路線は、地上から高さ6m にあり、圧縮空気を送る幅と高さが 1m の矩形断面をもつコンクリート製パイプラインを兼ねている。その周回する路線ルートに 6 つの駅(丸印)が設けられている。

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 4 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、変形しやすくシール性が高く、しかも簡単な構造の優れた設計である。このシールはブルネルの大気圧鉄道では難点となっていた部品構造であるが、オスカーは Aeromovel 向けに、シールを 2 重構造にした型式も考案し、特許を取得している。

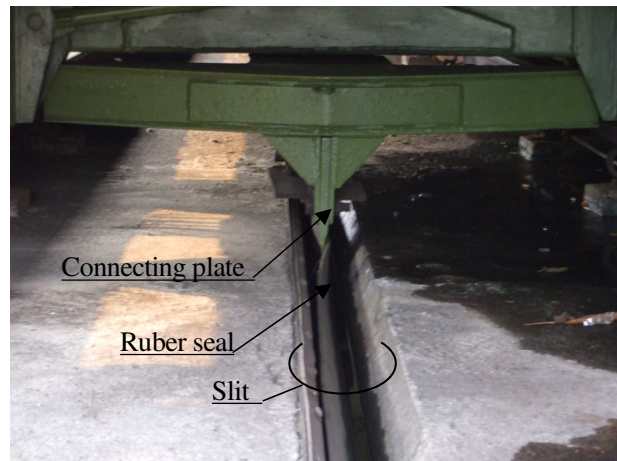


Fig.3 Main gate of Taman Mini, Indonesia. Fig.4 A slit for connecting plate on the gateway.

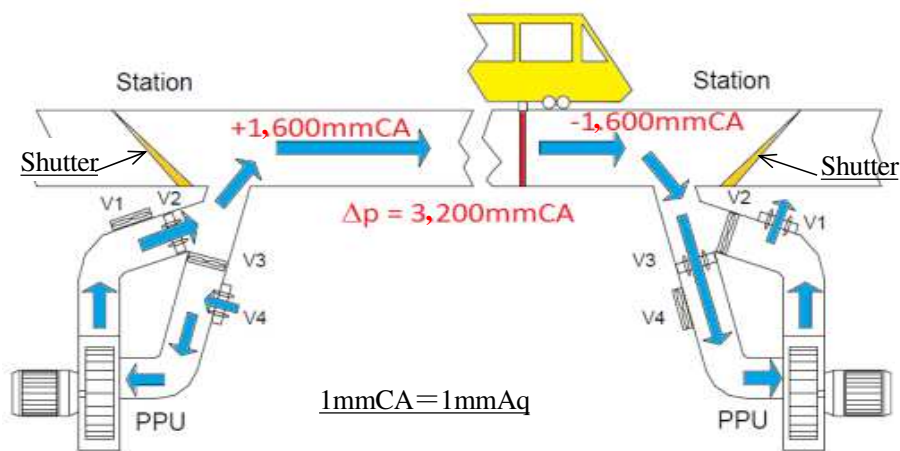


Fig. 5 Schematic drawing for explaining the moving, air pressure and air flow of Aeromovel.

軌道上には、スピードセンサーが 25m 間隔で設置されており、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。圧縮空気源は、駅下の近くに設けられた 5 箇所のポンプステーションから供給される。図 5 は、車両を加速、減速させるための空気圧の負荷と調整の原理図である。

同図は、弁板(ピストン)の後方(左側)での高圧側、前方(右側)の圧力差(3.2 気圧)で推力をつくり出し、前進(右側へ)する。加減速や停止時は、弁板前後の空気圧を制御して行われる。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。

車両が走行するパイプラインは、図 5 のように仕切り弁(Shutter)でゾーニングされ、車両の移動とともに圧縮空気を供給するゾーンを順次交替することにより、車両は移動・走行される。

3. Porto Alegre でリニューアルされた最新型 AEROMOVEL

著者は 2013 年 9 月 21 日、同年 8 月から試運転が始まった最新型の Aeromovel に試乗するためブラジルの Porto Alegre を訪ねた。空港駅で開発者のオスカー、エンジニアのアブス・ディエゴ(Abs Diego)らの出迎えを受け、早速、試乗・見学を行った(図 6)。2013 年 10 月までは試運転中で、乗車料金は無料としてエンジニアがコントロール装置をホームに持ちこみ、データ収集をしていた(図 7)。試運転時、走行している車両は 1 両であったが、本運転では 2 両編成の車両も登場するというので、大きな成長といえる。Aeromovel に試乗した印象では、始動時と制動時における走行が非常に滑らかで、これは、空気圧が駆動源であり、もし機械的衝撃や変動があったとしても、空気系の中で吸収・削除されることが最大の安定化への効果であるといえる。

当日は、軌道の上に立ち走行原理を確かめ、軌道や路面の建設状態も確認することができた。通常の電車などと同様に Aeromovel も、ポイントの切り替えが可能であるという。この点は現場では分かりづらいが、むしろ特許申請書を見ると明快であった。その後、ポンプステーションのフロア、コントロールパネル、吸気口、排気口などの施設を見学した。これらは一般的な技術の応用で、Aeromovel は環境適用が可能な都市交通システムとして、日本にも導入したい。Aeromovel の技術的な要点を上げると、以下のとおりである。

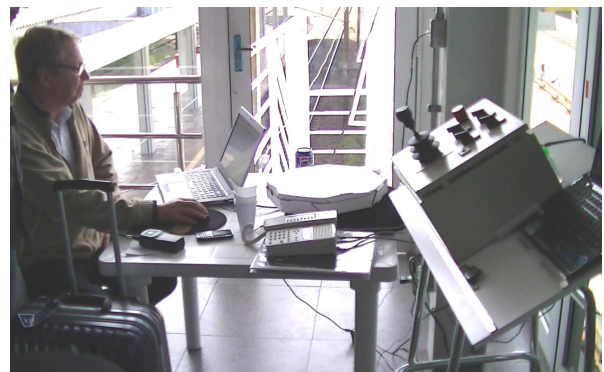


Fig.6 Abs Dieg and Oskar Coester (from right side). Fig.7 Official trial running and regulation of Aeromovel.

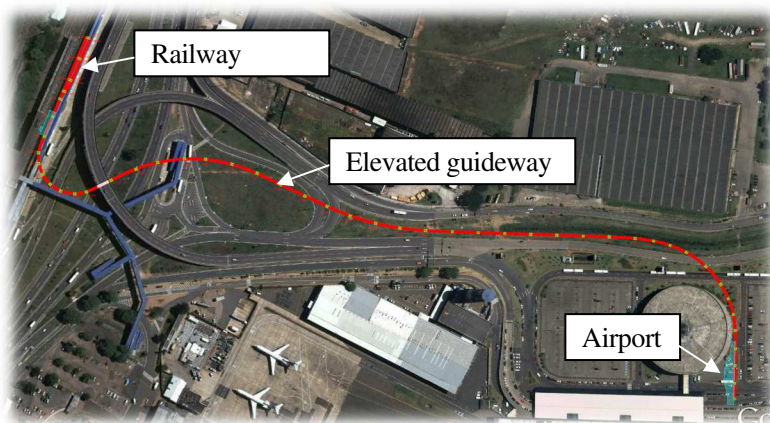


Fig.8 The Aeromovel route connecting airport and railway station. Fig.9 Newly designed Aeromovel's car.



Fig.10 Photos of the construction of the elevated guideway of for Aeromovel.

2013年に試運転が開始された路線は、ポルト・アレグレ国際空港 (Salgado Filho, POA) と国鉄を結んでいる。その路線空港写真を示す(図 8)。路線距離は 1011m であり 90sec で移動する。すなわち時速 40km である。新型の Aeromovel は図 9 のように FRP 製で軽量で、一人当たりになると、48kg/人である ($48 \times 300 = 14,400\text{kg}$)。

現在は路線距離が 1km 程度であるが、今後、距離を増大する場合は、駅間距離を長めの 1000~1600m とするとエネルギーコストが最も低くなるという。エネルギーコストは走行速度に関係するが、40km, 50km, 60km では、それぞれ 18, 22, 27Wh/(km・人)であり、短距離の場合は 30~40Wh/(km・人)であるという。これらの値は、一般の交通システムの半分から 10 分の 1 の値であり、Aeromovel が有利な点がここにある。路線距離が 15km では、10 箇所ほどのポンプステーションを設けて、ゾーニングし圧縮空気を送り、移動走行させることになる。

なお、駅構内ではホームを 2 本にするなどのために、線路にポイントを立てて単線軌道から複線軌道へ引き込むことが必要であり、Aeromovel ではスリットを含んだままでパイプラインがポイント切り替えをしなければならないが、オスカーは、これに対してもバルブ操作で可能にする特許を取得している。Aeromovel の長い研究開発の歴史は、多くの実用技術を集積していることを、実験現場や開発現場を訪ね実感した次第である。

4. 結 語

ブルネルの大気圧鉄道の技術史研究に関連してニューマティックシステムとしての「空気鉄道」(Aeromovel)の商業運転利用を知り、その稼働地である 2 箇所を現地調査し、概要をまとめた。2014 年、日本機械学会の年次大会では、ニューマティックシステムとしての長所を知って頂くようにワークショップ WS を企画した。Aeromovel は、走行原理と構造が簡単で、低速走行を前提とした地域交通システムとしては環境やコスト面などにおいても優れている。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で 1989 年から運転されており、30 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 ブラジルのポルトアレグレ (Porto Alegre) では、インドネシアのシステムにコンピュータ技術を導入し、車両デザインを一新して、2013 年に試運転を始め 2014 年から実用運転を順調に行っている。
- ⑦ Aeromovel は、高架式で渋滞対策としても可能な都市交通の新方式 APM として適用できるシステムである。

文 献

- (1) 佐藤建吉,『ブルネルの偉大なる挑戦』,日刊工業新聞社, (2006 年)。
- (2) 佐藤建吉, 空気圧鉄道 Aeromovel の現地調査, No.09-90 講演会, 79-82, (2009 年)。
- (3) Luis Antonio Lindau, RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A NEW TRANSPORT MODE IN SOUTHERN BRAZIL, the 5th World Conference on Transport Research, session G-4 151-1, (1989 年)。
- (4) D. Abs, D. Mori, and S. Castaneda, An Innovative Transportation Solution for the City of Canoas, Brazil, (2018 年)。