

ニューマティック鉄道における 真空方式と圧縮空気方式の比較



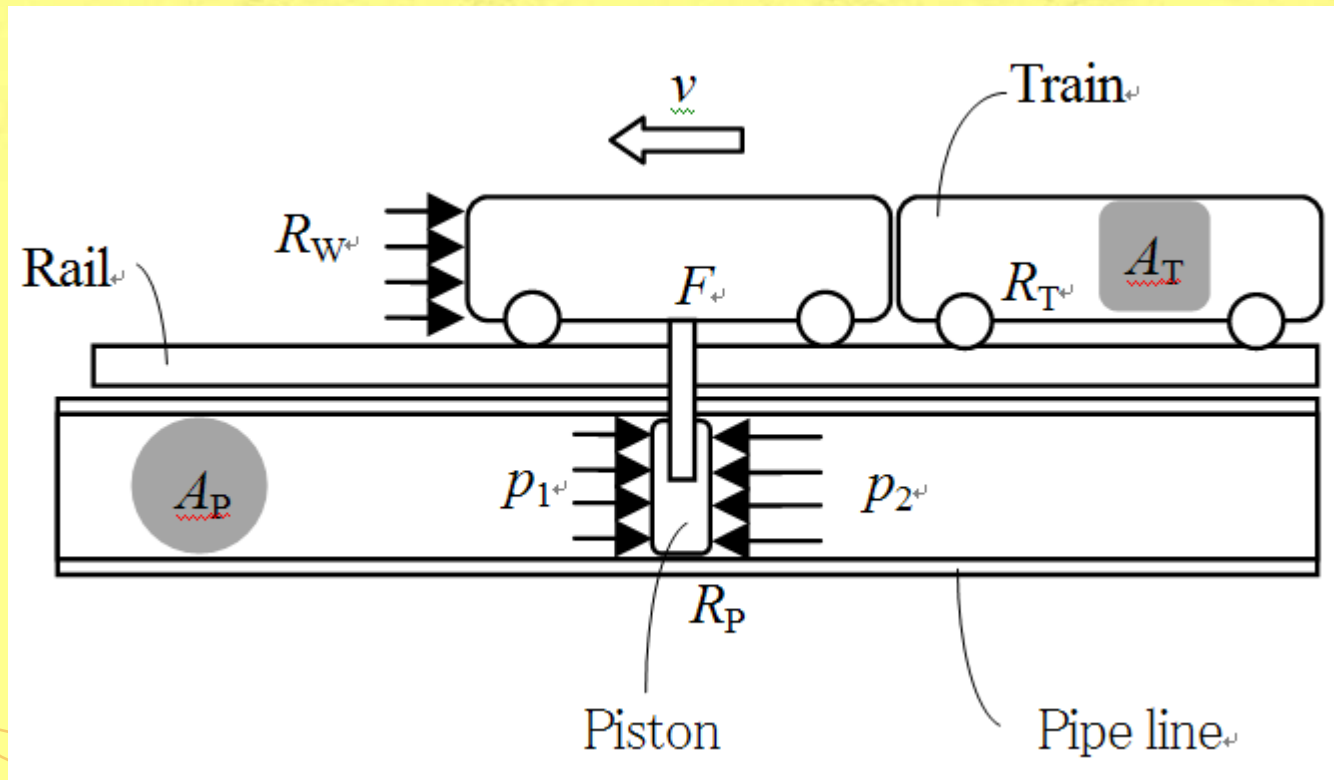
佐藤 建吉 & 溝上 純義
千葉大学大学院

ニューマティック鉄道（空気鉄道）

- ブルネルの大気圧鉄道（真空方式）
原理がユニーク、経済・環境・エネルギー一面での優位性がある。
⇒観光地などでの小規模、非高速鉄道として復活、再実用化したい。
- 類似した圧縮空気方式の小規模、低速の鉄道が現在実用されている。
⇒ニューマティック鉄道と呼び、両者について比較すること。
- 本報の目的
両者を比較検討する。
また、大気圧鉄道は、高速鉄道か？

ニューマティック鉄道の推進原理 の一般化

- 真空方式 & 圧縮空気方式



推進力と抵抗力

- 推進力 F

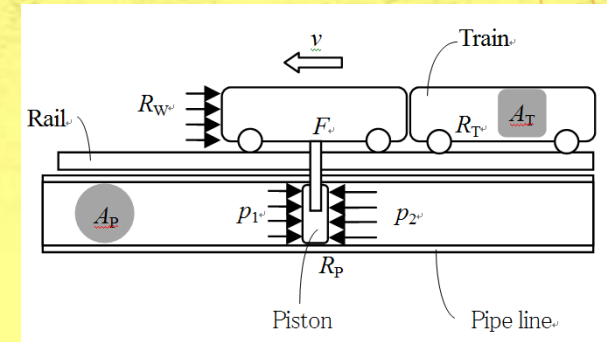
- ...ピストンの前後の圧力差がつくる力 P

- 抵抗力 R

- ...ピストンとパイプライン側での摩擦抵抗 R_p

- ...車両とレール側での走行抵抗 R_T

- ...車両の空気抵抗 R_W



推進力 F

- 推進力 F

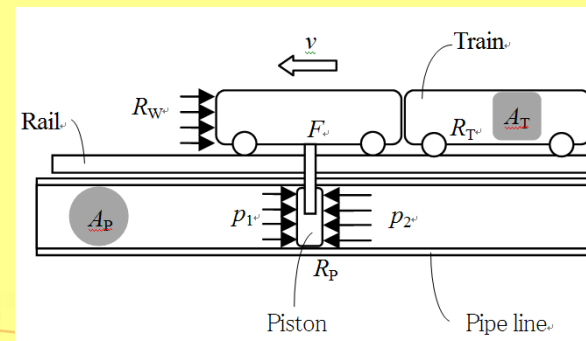
$$F = P - R - R_W = (p_2 - p_1)A_P - (R_P + R_T) - R_W \quad \cdot \quad \cdot \quad (1)$$

A_P : ピストン (パイプライン) の断面積

- 空気抵抗 R_W

$$R_W = kv^2 = (1/2)C_D \rho A_T v^2 \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad (2)$$

$$\therefore k = (1/2)C_D \rho A_T$$



圧力差による力 P

- 大気圧鉄道

$$p_2 = p_0 \quad p_0 : \text{大気圧}$$

$$p_1 = \alpha p_0 \quad \alpha : \text{減圧比}$$

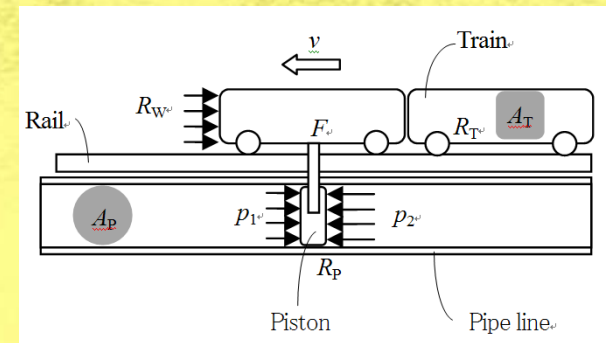
$$\Rightarrow P = (p_2 - p_1)A_P = (1 - \alpha) p_0 A_P$$

- 圧縮空気鉄道

$$p_1 = p_0$$

$$p_2 = \beta p_0 \quad \beta : \text{高圧比}$$

$$\Rightarrow P = (p_2 - p_1)A_P = (\beta - 1) p_0 A_P$$



力学の検討

● 運動方程式

ピストン部質量 : M_P

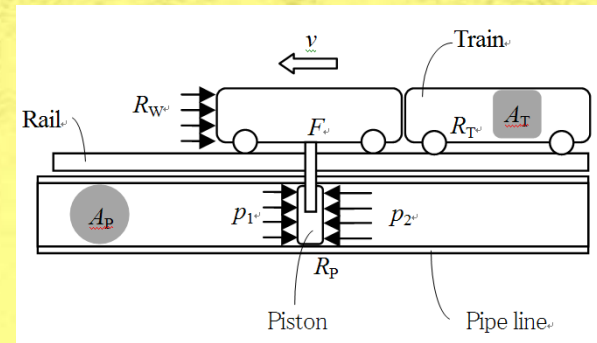
車両質量 : M_T

全質量 : $M = M_P + M_T$

$$M dv/dt = F(v) \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad (3)$$

● 代入、定式化

$$(M_P + M_T) dv/dt = (P - R) - kV^2 \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad (4)$$



走行速度 v

- 一般式

$$v^2 = (P-R)/k - C \exp(-2k/M \cdot x) \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad (5)$$

- 境界条件, 初期条件 : $x=0$ で $v=v_0$

$$C = v_0^2 - (P-R)/k$$

$$v = [(P-R)/k - \{(P-R)/k - v_0^2\} \exp(-2k/M \cdot x)]^{1/2} \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad (6)$$

- 適用

$P \Rightarrow 1-\alpha \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad$ 大気圧鉄道 (真空方式)

$\Rightarrow \beta-1 \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad$ 圧縮空気鉄道



空気抵抗 R_{WIND}

- 空気抵抗 R_{WIND}

$$\begin{aligned} R_{WIND} &= R_W + R_{WP} = k_{WIND} V^2 \\ &= (1/2) C_D \rho A_T V^2 + (1/2) C_{DP} \rho' A_P V^2 \\ &= (1/2) \{ C_D \rho A_T + C_{DP} \rho' A_P \} V^2 \end{aligned} \quad \dots \dots (7)$$

- 抵抗係数 k_{WIND}

$$k_{WIND} = (1/2) \{ C_D \rho A_T + C_{DP} \rho' A_P \} \quad \dots \dots (8)$$

- 抗力係数 C_{DP}

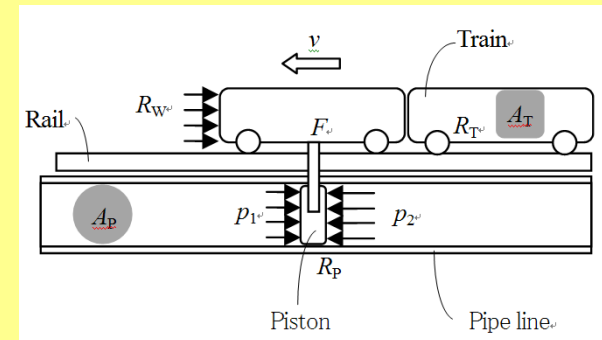
パイプ内での抗力係数

- パイプ内の空気の密度 ρ'

$\rho' = \alpha \rho$ 真空方式

$\rho' = \rho$ 圧縮方式

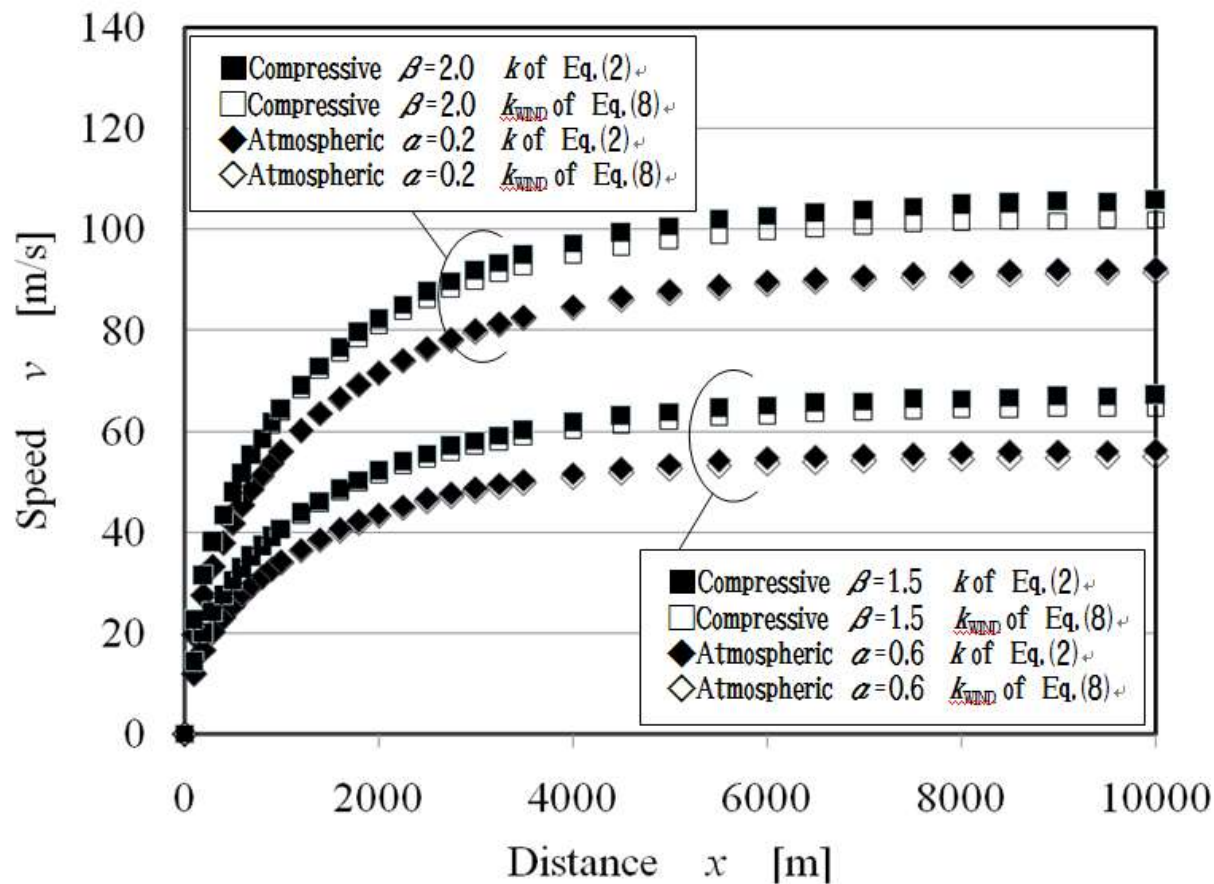
- ピストンとパイプには隙間がなく、漏れがない $\Rightarrow C_{DP} = 1.0$



計算結果と検討

● 計算例

$p_0=1013\text{hPa}$, $A_p=1.0\text{m}^2$, $R_p=980\text{N}$, $R_T=15.68\text{kN}$, $C_D=2.0$,
 $\rho=1.2\text{kg/m}^3$, $A_T=6.25\text{m}^2$, $M_p=1.0\text{kg}$, $M_T=32.0\text{kg}$



設計要件

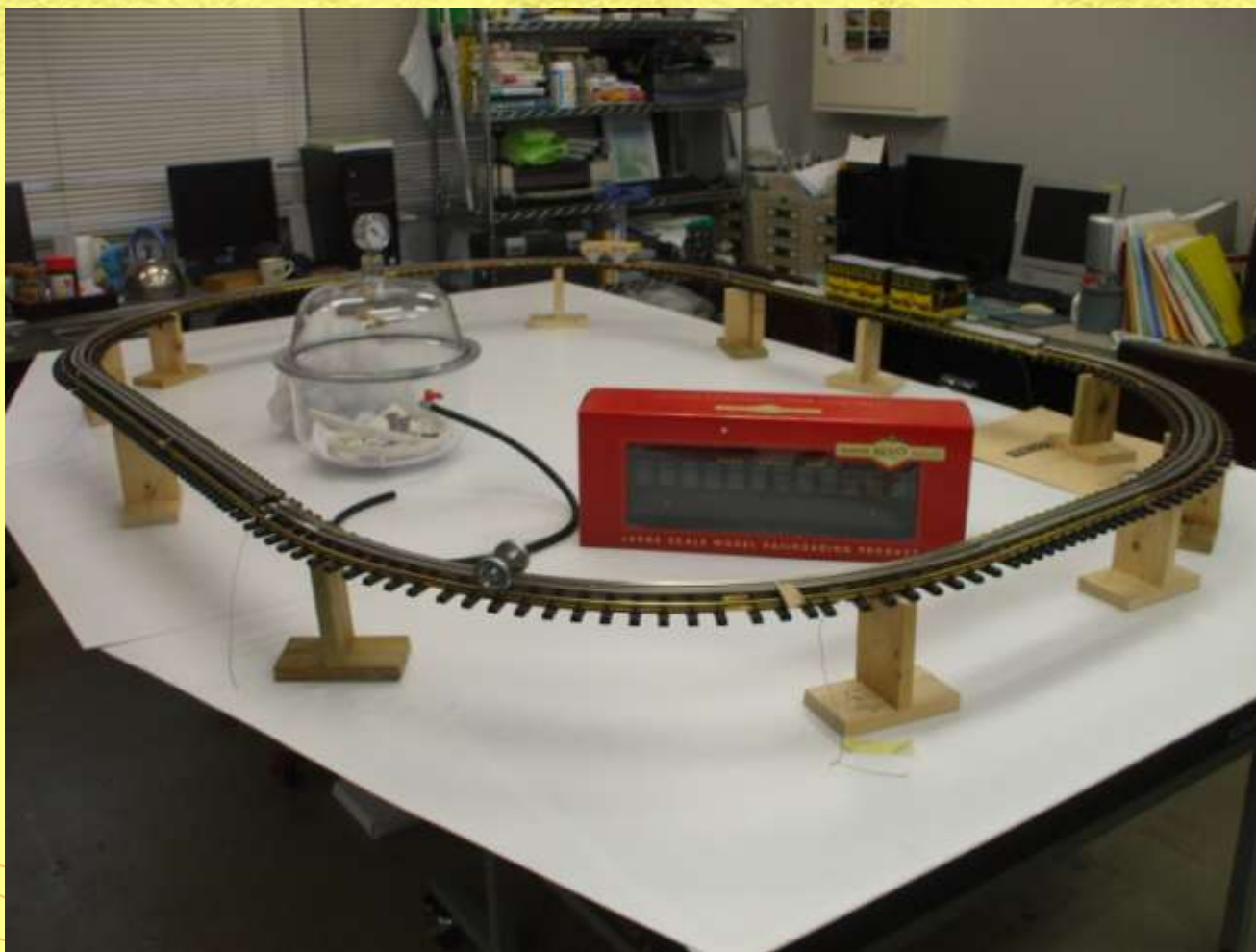
- 真空方式においては、進行方向のピストンより前方のパイプライン内をピストン（列車）の進行に障害にならないように、ある長さにわたって真空（低圧）にしておく必要がある。また、ピストンの後方においてもピストン（列車）の進行に障害にならないように、大気圧の空気を供給されなければならない。
- パイプラインをある長さを1ゾーンとしてゾーニングし、ピストンの前方のゾーンはピストン（列車）の進行に同期させて、真空引きとゾーンバルブの開閉を順次行うなどの必要がある。同時に、ピストンの後方では、大気圧に常に保つように仕組みをする必要がある。
- 圧縮空気方式においては、ピストンの後方をピストン通過後も定圧の圧縮空気に調整しておく必要がある。またピストン前方の空気を障害なく排気されるようにする必要がある。

設計要件

- スリットと連接板の機構と構造，そして材料選定などについて実用的な設計する必要がある．
- スリットからの空気漏れ，ピストンとパイプラインの隙間からの空気漏れについての検討は別報⁵⁾で述べている．
- パイプラインの形状を円形にするか矩形にするかなども利便性にあわせて検討する必要がある．

時速120km程度の走行速度では， $\alpha=0.7$ ， $\beta=1.3$ ，つまり気圧差0.3気圧程度でもよいので，気密については容易に設計ができる．この場合は，実用上からゾーンニングの最適な設計となりそうである．

模型製作中



羽田～成田間アクセス



神奈川県が発表したリニア構想のルートのイメージ。(「成田～羽田超高速鉄道整備構想 検討調査報告書」より)

羽田～成田を15分で結ぶリニア構想－神奈川県が調査結果発表

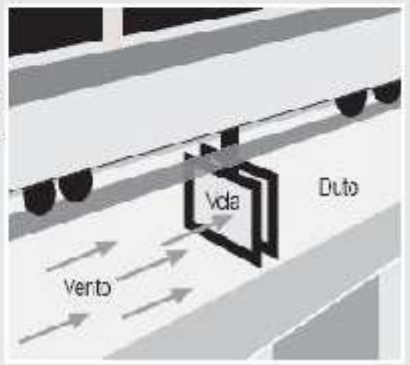
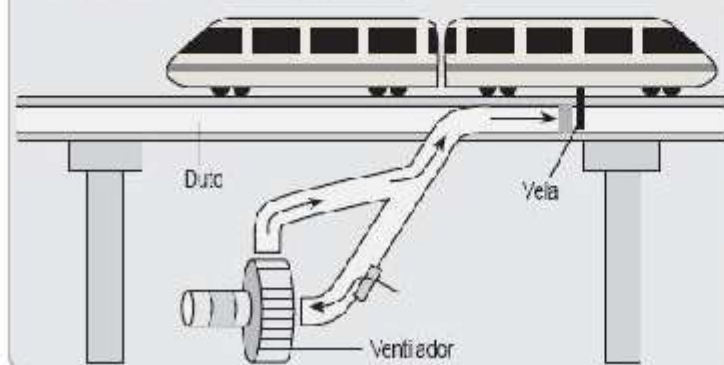
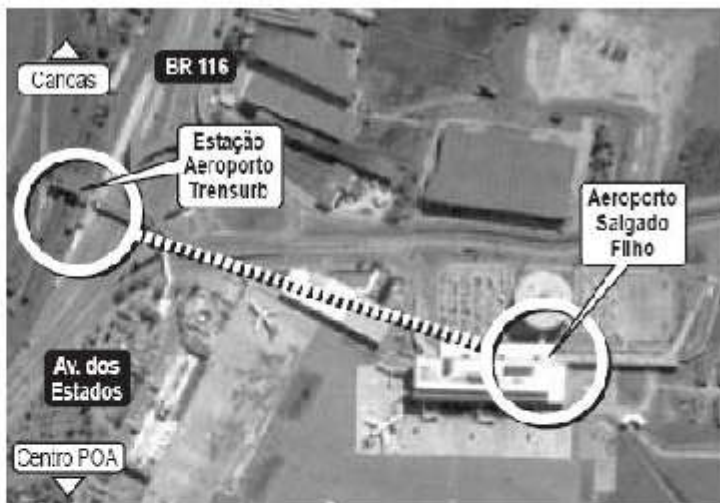
Porto Alegre (ポルトアレゴール)

A PROPOSTA EM ESTUDO

O projeto

O aeromóvel se desloca sobre vigas, em trilhos suspensos a cinco metros de altura (em média). O acesso dos passageiros é feito nas estações por escada, rampa ou elevador.

- O veículo é movido a ar pelo mesmo sistema do barco a vela. Dentro da viga dos trilhos há um duto por onde circula o ar que impela a vela interna do aeromóvel. Um ventilador industrial produz o vento.
- O aeromóvel não tem condutor. É operado de uma torre de comando automatizada.



Editoria de Arte



大気圧鉄道

- 古いが、新しい鉄道として、支援願います。

