

ソーラー電車ハイブリッドトラックシステム

藤 井 修*

Solar Train-Hybrid Truck System

Osamu FUJII

Abstract:

This “Solar Train-Hybrid Truck System” is a new type of roadway system which contains an underground innovative express highway, an ordinary express highway on the second floor, an ordinary railway, and a roof over the second floor. We propose remodeling the ordinary rail road to a road of high quality with few curves and slopes. Since there is roofing, we can use it under any weather condition. Solar batteries are attached to the roof. The solar cells can provide energy for electric trains and hybrid-trucks. Express companies can carry their cargos by way of automatic driving, convoy driving or driving their trains with soft connectors. The 4-lane-express-high-way underground has overhead wires but no rail and hybrid-trucks can run freely on paved roads and thus can deliver goods door to door. This system can reduce the fuel consumption of hybrid trucks to 40%.

Key Words: solar train, hybrid truck, automatic driving, convoy driving, slip stream in tunnel

1 序 論

我々はガソリン車で最も燃費の良いと考えられている車で鹿児島東京1500kmを途中燃料補給する事なく走行した。このときの燃費が39.5km/リットルである。一方、宮野氏は燃費世界記録を持つ。彼は、鹿児島から青森の100km手前1966kmを無給油で走行した。燃費は49km/リットルでした。この車の名前はジーゼルのルポです。このようにジーゼル車の燃費は驚異的である。24%燃費が良いことになるが、この事に見られるようにジーゼルは非常に燃費が良い。価格が安く、最近ではコモンレール方式やハイブリッド方式などで排気ガスもきれいになる可能性も見えてきたので、将来は中心的な車になると予測される。内燃機関の車の最大の欠点はトンネルを走行できない事である。青函トンネルでは電車は通過できるが、トラックは通過できない。ドーバー海峡のトンネルでは電車にトラックを載せて運んでいる。都心の地下や長いトンネルや海底トンネルをトラックが走行できるようになれば、流通に革命がおきるであろう。燃料電池トラックであれば、トンネルを通過できる。しかし、燃

料電池トラックはまだ、高価で水素を搭載しているの地下は危険である。安価で車両数の多いジーゼルトラックがトンネルを通過できるのは意義がある。

一方、日野自動車はプリウスよりも前にHIMRというハイブリッドトラックを市販している。このシステムでは架線を道路に取り付ける事により、ハイブリッドトラックを地下で走行させる事が可能である。このようにすれば、ジーゼルは本当に自由にどこでも行ける事になり、輸送量が飛躍的に増す。図15と図16に見られるようにこのソーラー電車ハイブリッドトラックシステムは新しい形態の道路で、2階は片側2車線の通常の高速道路ですが、坂が少なく、カーブも少なく、屋根があるので、雨や雪に強い全天候型の高速道路です。その屋根の上にはソーラー電池を設置し、植物を植える。この高速道路は通常の高速道路と接続可能である。地下に高速道路を建設する。そこにはハイブリッドトラックを走らせる。地下部分は架線があるが、レールのない片側2車線のアスファルト道路である。運送会社のハイブリッドトラックは自動運転、コンボイ走行、ソフト連結走行を行う事ができる。レールはないので、現地についたらハイブリッ

* 共通教育部

平成14年5月20日受理

ドトラックは都市内を走行する事ができる。屋根につけたソーラー電池で地下の鉄道の電力は賄う事が可能である。1階部分の4車線の道路を走行するハイブリッドトラックやハイブリッドバスの電力の大部分を賄う事が可能である。この方式の特徴は従来の車両がそのまま利用でき、電池もリチウムでなくてもよく、燃料電池でなくてもよい。従来の鉛電池でよい。経営不振の鉄道会社をITSの概念で新しく復活できます。1階はコンボイ走行、自動化などが可能で、2階は従来の高速道路が高品質化され、ITSの評価を行うモデル道路として位置付ける事も可能である。電車は架線があるゆえに蒸気機関、ディーゼルを駆逐してしまった。架線は非常に役に立ち、このシステムではハイブリッドトラックが架線を使う事ができる。軽い高性能電池や燃料電池を開発する事も大事だが、架線の有効利用について研究したのが、この論文です。架線は電車の強みです。エネルギーを架線で輸送できる事を他の乗り物では真似できません。電車は再生エネルギーも効率よく吸収できる。このシステムではハイブリッドトラックは効率よく回生ブレーキを利用できる。電池を使った回生は欠点もあり、現在実用化しているブレーキは電車の回生ブレーキのみである。

このシステムでは架線を使うので、回生ブレーキを有効に利用できる。電気自動車やハイブリッドトラックのネックになっているのが、電池の重量であるが、架線を使うので重い電池は不要で大幅に省エネできる。電車の最大の欠点は現地から現地へ直送が困難という事です。電車とトラックの長所を融合させたのが、このシステムです。鉄道とトラックの長所を生かしたシステムになればと思います。線路はタイヤに代えて、電子制御でコントロールできるとおもいます。レールを取り払えば自動

車が参入可能です。世の中の片隅にあるトローリ自動車を電子制御により高速走行させる研究です。この時、図16のように風のみ循環するトンネルを使うと、40%の燃料で省エネ走行できる可能性があります。おりしも、経営不振の鉄道会社はかなりあるというニュースをききますが、その鉄道をITSの概念で新しく復活できればと考えます。

2 模型の製作と走行実験

この論文では、計算するだけでなく、実際に数種の模型を製作してみました。

2.1 このシステムの縮小モデル

どのような道路システムであるかを示すために、幅2メートルで長さ4メートルの模型を製作してみました。ソーラー電車ハイブリッドトラックシステムを模型にしています。工法は従来ある鉄道を改造して行う。この模型において、すべての電車はソーラーで走行できます。

40WのソーラーでNゲージ電車を動かしたが、夕方

のわずかな光で軽快に走る。これは実車でも可能です。鉄道の上の面積は十分広く、以下に示すように走行エネルギーはソーラーエネルギーでまかなう事が可能である。写真はわかりやすくする為に2階部分はずしている。図5の2階は高速道路で、自動車が走行する。図6の右の電車は車両の上に設置したソーラーで走行しているが、今回の計画にはこのタイプの電車は実用化には使わない。理由はソーラーでこのタイプの模型を動かしても実車は動かせないからである。

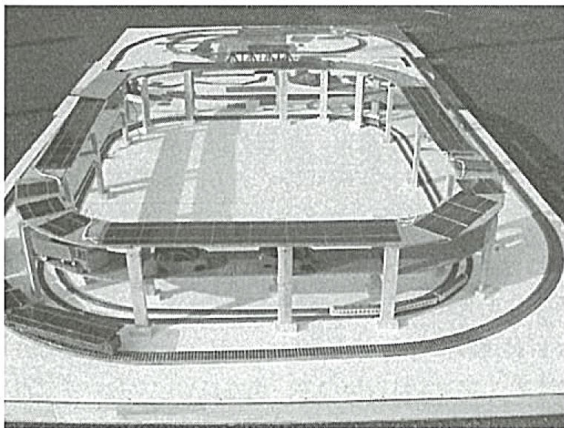


図1 模型全図

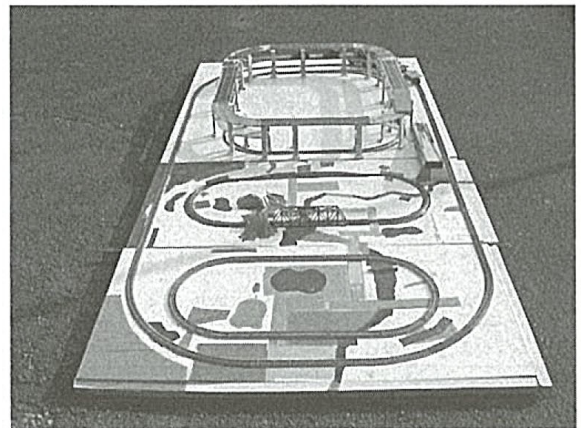


図2 反対方向から見た模型全図

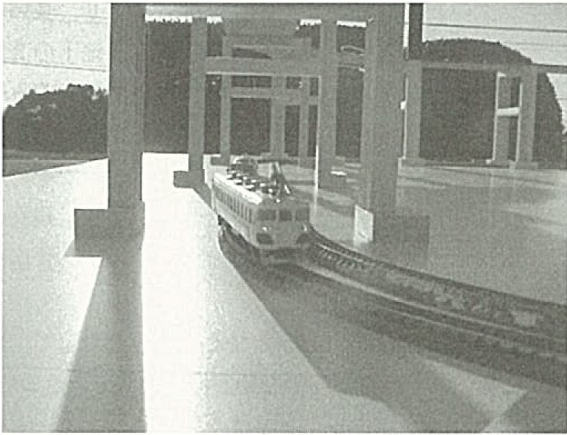


図3 一階を走行する電車

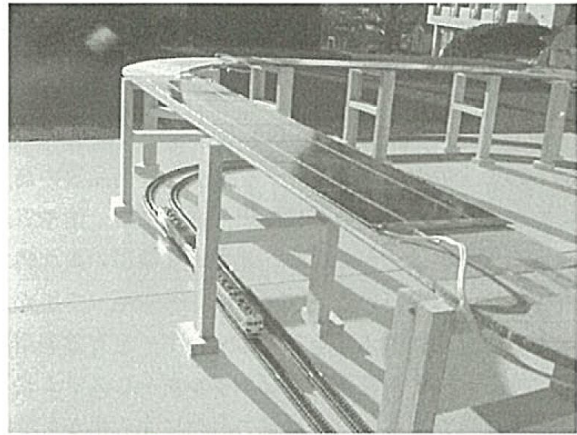


図4 3階に設置したソーラーセルにより電車が走行できる

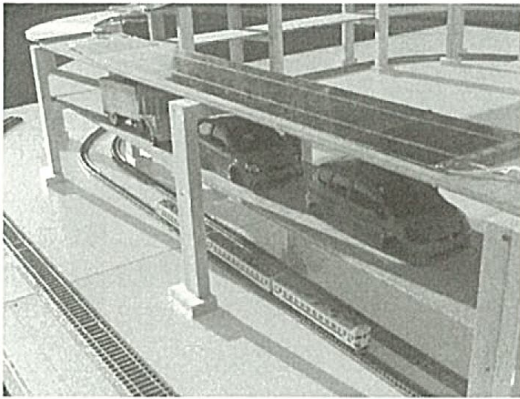


図5 2階は高速道路で、自動車が行走する

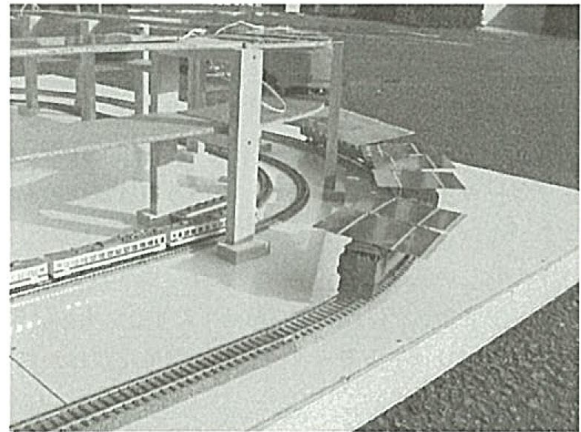


図6 右の電車は車両の上に設置したソーラーで走行している

2.2 子供が乗れるソーラー電車

子供が8名乗れるソーラー電車を製作した。図7と図8は完成した子供用ソーラー電車の外観であるが、8名の子供が乗れて2ヶ月で60km走行した。



図7 子供用ソーラー電車



図8 子供用ソーラー電車

3 ソーラー電車ハイブリッドトラックシステムのメリット

- ◎2階に新しい高速道路ができる。しかも鉄道の上であるので、坂が少なく、カーブも少ない高品質の高速道路ができる。高速道路に屋根があるので、雨や雪に強い全天候型道路ができる。北海道札幌市の南北線は丸い屋根がついている。ソーラーエネルギーでまかなえる。鉄道会社にふりそそぐエネルギーを有効利用可能にする。つまり持続可能なエネルギーシステムになる。あまったエネルギーは電力会社に売ることが可能。ソーラーで直接電車を駆動しなくても売電で電力料金を払わなくて良い。
- ◎鉄道の欠点は積み替えが必要であることである。戸口から戸口へが可能で、架線のメリットを生かす事が可能。
- ◎自動車と鉄道のいいとこどりが可能である。架線の長所を生かせる。回生ブレーキを有効に利用できる。回生ブレーキが実用段階にはいつているのは電車のみです。
- ◎地下の新しい高速道路の場合、架線を使うので、ハイブリッドトラックに燃料を搭載せずにすむ。その結果、そのハイブリッドトラックは車両の軽量化がはかれて省エネ車となれる。
- ◎地下の新しいタイプの高速道路で自動運転ができるので、運送会社は人件費を減らす事が可能である。私は貨物車などについては自動運転は効果があると考えます。自動運転が実現しやすいのはレスキー分野や貨物分野である。もともと鉄道は自動化に向いている。第4世代の一階の高速道路は鉄道からレールを除いた方式なので、この道路は自動化に向いている。ITSで自動化が研究されているが、大規模の自動化はこのような方式が最適である。コンボイ走行やソフト連結走行で空気抵抗を減らす事ができる。列車の長所は連続している事より、空気抵抗が少ない事である。
- ◎自動車の走行抵抗は高速では非常に大きい。ある意味トラックの走行は風を起こす事にエネルギーを注いでいる。トラックは走行風を利用する事により、省エネ走行を実現できる。地下の道路は第4世代では上りと下りが仕切られて、両ターミナルで連結されており、循環走行風を起こせる可能性がある。図16のように風のみ循環するトンネルを使うと、40%の燃料で省エネ走行できる可能性があります。
- ◎トラックの弱点はトラックの有害排気により、長いトンネルを走行できない事である。しかし、地下の高速道路は長いトンネルに強く、都心では地下にもぐる事も可能である。また、ハイブリッドトラックは青函トンネルなどの長いトンネルも走行できるので、そのトラックは貨物輸送量を増加させる事ができる。現在の青函トンネルでトラックが走行できないので、青函トンネルの輸送量は低い。
- ◎電池は車両内に搭載するのではなく架線をとおして、変電所に置く。それで、安価な鉛電池に蓄電できるので、軽いリチウム電池を使う必要はない。リニアモーターカーやエアロトレインなどと比較すると、従来の車両がそのまま利用できる。このシステムはリチウム電池や燃料電池を必要としなく、従来の鉛電池でよい。従来のシステムでは地下鉄は単独であるので事故の時、救助が大変である。上の階に高速道路があるので、救助が行いやすい。乗客は自動車に乗り換えて目的地にいける。
- ◎鉄道と高速道路が並行していれば、列車の上にトラックを載せる方式も比較的楽である。
- ◎経営不振の鉄道の復活が可能である。1階はコンボイ走行、自動化などが可能で、2階は従来の高速道路が高品質化されている。ITSの評価を行うモデル道路として位置付ける事も可能である。

4 ソーラー電車について

筆者はソーラーカーを製作し、レース用ソーラーエネルギーで時速55kmで走行できる事を示しています。レース用ソーラーカーは実用向きでないが、ソーラー電気自動車なら、実用可能である事と家庭の屋根にソーラーをはれば家族4名と1台の自動車は養える事を示しています。国の単位は家庭であり、その家庭のエネルギーの大部分がソーラーエネルギーで賄える事は、ソーラーによる分散型再生可能な社会の可能性を暗示しています。家計で比重の大きい電車代もソーラーでまかなえることもこの論文のテーマです。ソーラー電車は実用化できる可能性を持っています。東北大学が宮崎のリニア跡でエアロトレインの実験していますが、エネルギーはソーラーと風力です。 <http://www.ifs.tohoku.ac.jp/kohama-lab/getstopj.html>

エアロトレインを見学に宮崎県のリニアモーター実験施設に行きました。エアロトレインは東北大学が研究中で、ソーラーで走行させる計画です。あまったエネルギー



図9 2020年ソーラーエネルギーで時速500km 走行予定のエアロトレイン

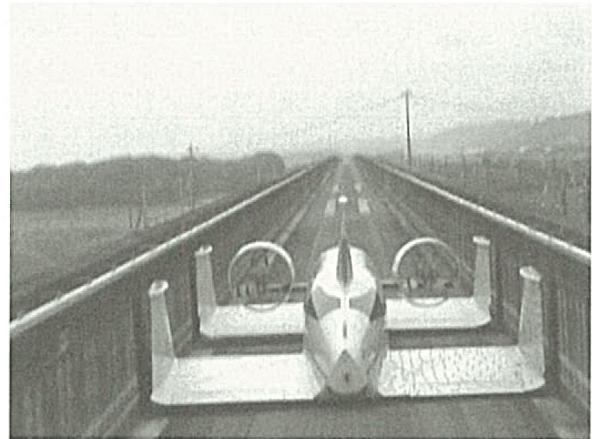


図10 時速100km で実験中の現段階エアロトレイン



図11 ソーラーカー 2号車はマレーシアで開催された世界大会に参加した。



図12 左が我々の製作したソーラーカーで右がホンダドリーム号です。

は路線付近の地区に配布する計画だそうです。2020年ソーラーエネルギーで時速500km 走行予定のエアロトレインは12分間隔で走行するそうです。

5 ソーラー電車のエネルギー計算例

西鉄電車（大牟田福岡間）を例にとって試算してみた。西鉄電車の線路の長さは75kmで幅約10mです。

$$75000 \times 10 = 750000$$

面積は750000m²となる。

面積あたりのソーラーエネルギーを次のように導いた。表1に結果を示す。

$$1322 \times 0.01 \text{MJ/day} \cdot \text{m}^2 = 1322 \times 10^4 \text{J/day} \cdot \text{m}^2$$

$$1322 \times 0.01 \text{MJ/day} \cdot \text{m}^2 = 1322 \times 10^4 \text{J/day} \cdot \text{m}^2$$

$$1 \text{kwh} = 3600 \text{S} \times 1000 \text{J/S} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$

$$E = \frac{1322 \times 10^4}{3.6 \times 10^6} = 3.672 \text{kwh/day} \cdot \text{m}^2$$

$$S \times E = 3.672 \text{kwh/day} \cdot \text{m}^2 \times 750000 \text{m}^2 = 2754100$$

太陽電池の効率を15%とすると、1日のソーラーエネルギーは次のように計算された。

$$4.13 \times 10^5 \text{kwh/day}$$

ところで、西鉄電車のデータによると、電車を走行させる年間のエネルギー必要量は次のようになる。

$$1.282 \times 10^8 \text{kwh/year}$$

それで、一日のエネルギー使用量は次のようになる。

表1 17年間日本の天文台で測定された日射量の表。(0.01MJ/day.m2)

Location	1994	1993	1992	1991	1990	1989	1988	1987	1986	1985	1984	1983	1982	1981	1980	1979	1978	Ave.
Sapporo	1246	1140	1133	1225	1194	1172	1181	1100	1161	1242	1217	1114	1240	1271	1223	1175	1181	1189
Nemuro	1268	1189	1208	1235	1258	1233	1250	1206	1277	1276	1245	1186	1239	1275	1248	1282	1242	1242
Akita	1243	1130	1196	1160	1235	1165	1136	1136	1183	1167	1168	1123	1196	1122	1158	1108	1183	1165
Miyako	1264	1170	1252	1205	1246	1256	1209	1272	1259	1240	1261	1195	1276	1285	1228	1200	1309	1242
Wajima	1263	1055	1171	1148	1232	1190	1119	1175	1144	1140	1199	1212	1279	1174	1040	1151	1237	1172
Matumoto	1500	1349	1417	1388	1445	1369	1299	1421	1448	1369	1466	1435	1486	1479	1340	1326	1388	1407
Tateno	1413	1203	1293	1251	1301	1285	1286	1301	1255	1263	1333	1275	1292	1279	1238	1278	1370	1289
Yonago	1409	1188	1325	1225	1271	1169	1175	1245	1219	1228	1323	1301	1310	1298	1163	1285	1373	1265
Shiono	1587	1365	1371	1365	1493	1393	1370	1438	1473	1375	1376	1435	1433	1455	1321	1376	1524	1420
Fukuoka	1394	1152	1244	1189	1372	1306	1222	1257	1282	1255	1326	1314	1348	1348	1120	1267	1315	1277
Kagoshima	1463	1294	1364	1314	1378	1308	1312	1318	1349	1322	1354	1333	1374	1354	1284	1336	1411	1345
Ashizuri	1595	1362	1419	1384	1554	1423	1356	1387	1469	1446	1376	1440	1450	1457	1238	1429	1513	1429
Ishigaki	1571	1522	1349	1387	1377	1378	1352	1461	1435	1414	1406	1444	1504	1552	1568	1347	1548	1447
Naha	1434	1456	1244	1331	1336	1366	1332	1408	1422	1413	1382	1350	1424	1478	1424	1428	1548	1398
Chichijima	1561	1547	1523	1655	1650	1583	1368	1506	1521	1624	1565	1610	1596	1669	1665	1417	1307	1551
Minamitori	1800	1889	1953	1898	1709	1694	1775	1956	1878	1872	1625	1794	1836	1893	1916	1714	1831	1825
Average	1414	1274	1300	1297	1356	1306	1264	1308	1326	1318	1333	1317	1363	1366	1283	1293	1363	1322

$3.56 \times 10^5 \text{ kwh/day}$

比較すると次のようになる。

ソーラーエネルギー/電車を走行させる必要量

$= 4.13 \times 10^5 \text{ kwh/day} / 3.56 \times 10^5 \text{ kwh/day} = 1.16$

西鉄電車の線路の上の部分に屋根を作り、ソーラーを設置すれば、必要量と同量のソーラーエネルギーを得ることが可能である。

1日の車両総走行距離は次のとおりである。

$115 \times 10^3 \text{ km}$

車両あたり燃費はつぎのように計算される。

$115 \times 10^3 \text{ km} / 3.56 \times 10^5 \text{ kwh} = 0.323 \text{ km/kwh}$

6 ハイブリッドトラックの循環トンネルの実験

図13に見られるように、空気抵抗の割合は時速100kmで75%近くになる。軽油の大部分は風を起こす為に使われ、結果として地球気温を上げる結果となっている。以下の研究は起こした風を有効利用できないかという発想で行われた。つまり、この研究は自動車の根本問題に関連します。

トラック半積載空気抵抗の%

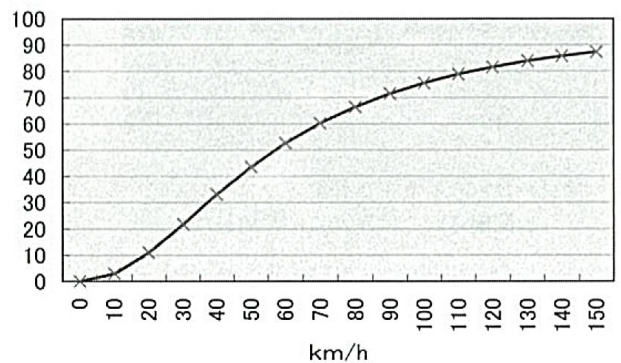


図13 トラック(日野レンジャー4トン)の場合の空気抵抗の割合%(荷物は半積載)

6.1 この研究の長所

(1) 鉄道と比較すると、物流にトラックが有利ですが、トラックの欠点は地下を走行できない事です。東京の地下にトラックが進入できれば、物流革命がおこると思います。青函トンネルも新幹線の計画はありますが、トラックの計画はないようです。ここもトラックが走行できれば、北海道から直接トラックが本州に来れるので、便利になります。しかし、英仏トンネルのように電車にトラックを積み込むのではなく、直接トラックが走行できると時間を短縮できます。

(2) 燃料電池車では水素を積載しているのでトンネル

走行は危険である。地上であれば、水素は軽く上方に拡散されるので、安全である。ハイブリッドトラックは軽油を少量積載するが、軽油は引火しにくいので、安全である。しかも架線を使う方式は電車で技術が蓄積されており、安全が保証される。

(3) いままで、空気抵抗の為に、無駄なエネルギーを使ってきたわけですが、大幅に省エネができるかもしれません。

図14は佐賀県にある日韓トンネル推進佐賀本部の写真ですが、このトンネルが実現する時に電車のみでなく、ハイブリッドトラックの走行が実現すれば、物流に大きな影響を与える。



図14 佐賀県にある日韓トンネル推進佐賀本部の看板

6.2 ソーラーでエネルギーをまかなうシステム

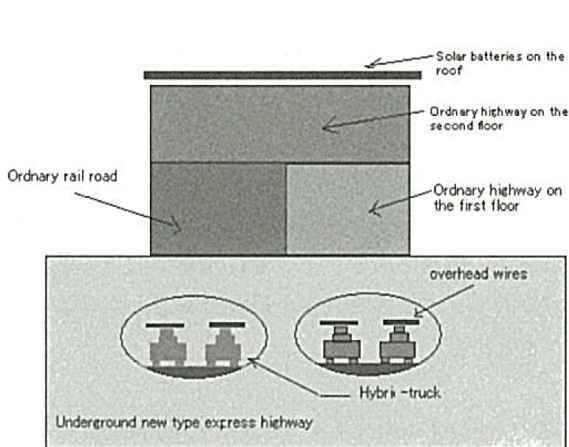


図15 普通の鉄道を改良して1階と2階に高速道路を作り、その上に屋根を作り、全天候型にする。そして、屋根にソーラーを設置して、鉄道その他のエネルギーをまかなう。地下にハイブリッドトラックを架線で走行させます。

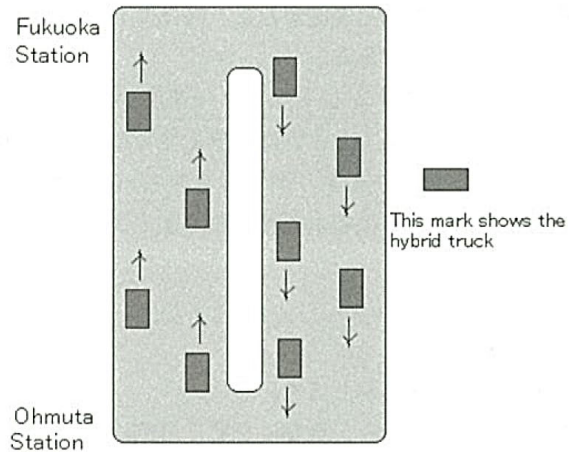


図16 片側2車線のトンネルは風のみ循環できるのが従来のトンネルと違ってきます。トラックは両ターミナルで出入りする。こうするとトラックの走行で風が起り、省エネが可能です。

6.3 実験方法

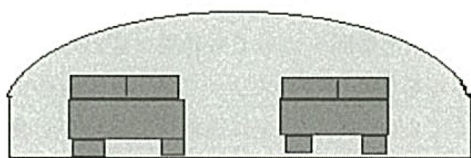


図17 トンネルの断面積とトラックの断面積の比がトンネル占有率で、普通のトンネルでは10%

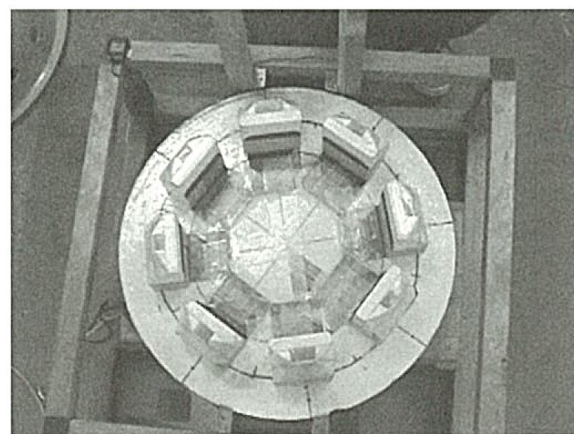


図18 8台のトラックがコンボイ走行する実験

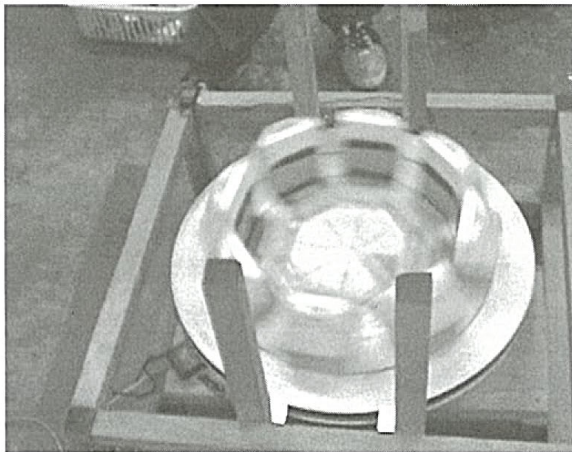


図19 トラックが走行している様子

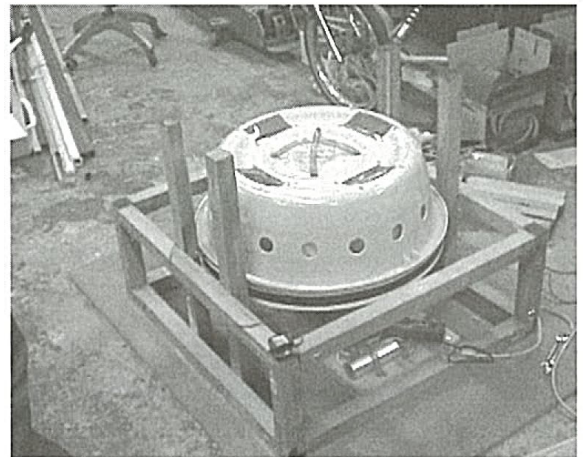


図20 トンネル状態にすると速度が2倍近くになる

測定方法は円盤の上で測定した。図18はトンネル占有33%の場合の実験である。

トンネル状態にするとトラックの速度が2倍くらい速くなる。速度が早くなるのは計器を使わなくても肉眼でもはっきりわかります。同じエネルギーで2倍の速度の運転ができる事は省エネ運転ができることを示唆している。

6.4 実験結果

代表的測定結果を示します。

図21の説明をすると、横軸は車間で単位は(台)である。縦軸はトラック1台あたりの出力で単位はw(ワット)である。青の線(normal)は通常のスリップストリームを示している。トンネル内を車間5台分(50m)でコンボイ走行するとトンネルのないところを単独で走行する時の7%のエネルギーで走行できる事になる。トン

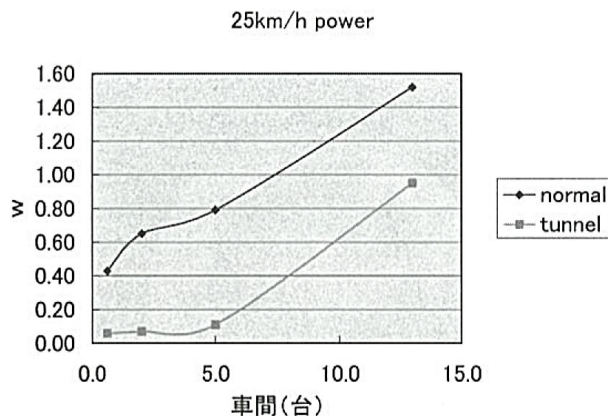


図21 トラック1台分の出力の代表的結果
normalは通常のスリップストリームの効果

ネルの場合それ以上車間をつめても効果は変わらない。これはトンネルを使えば通常スリップストリームのように接近しなくて50mでよいので、安全に運転ができる事を意味している。

トンネル占有33%時速15.5kmの場合でも同様の結果がえられた。トンネル占有率33%はかなりトンネル断面積が小さい場合である。それでは現在における普通のトンネルのトンネル占有10%の場合であると次のようになる。まとめると

表2 トンネル内スリップストリーム車間50mの場合

トンネル形状	25.0km/h	15.5km/h	平均
33%の場合	7%で走行可	20%で走行可	13.5%で走行可
10%の場合(普通規格)	33%で走行可	14%で走行可	24%で走行可

最終的に平均をとると20%の出力で走行できる事になる。トンネル内を車間距離5台分50mでコンボイ走行するとトンネルのないところを単独で走行する時の20%のエネルギーで走行できる事になる。ところでこれは空気抵抗分のみであるので、時速100kmの場合75%が空気抵抗であるので、これは燃費が40%に押さえられる事を意味する。地下ではハイブリッドトラックは電気のみで走るの、最小の燃料しか搭載しない。その結果重量も減り、省エネ運転が可能である。トンネルの場合5台(50m)以上車間をつめても効果は変わらない。これはトンネルを使えば通常スリップストリームのように接近しなくてよいので、安全に運転ができる事を意味している。

表3 円盤による Cd 値と風洞による Cd 値

	円盤装置による Cd	風洞による Cd
トンネル占有率33%でを使用したモデル	0.86	0.76
トンネル占有率10%でを使用したモデル	1.1	1.14

表4 測定した Cd 値 (自動車1/20モデル)

車名	ホイールベース	長さ	高さ	幅	cd 公表値	Cd 実測
NSX	103	190	43	80		0.53
Z new	112	180	55	75		0.3
Z old	95	70	55	70		0.39
Fit	103		65	70	0.25	0.22
Accord	258	442	133	180		
Odyssey	117	190	70	70	0.3	0.23
Vitz	92	130	57	66		
セルシオ	115	200	60	75		0.42
バイパー	103	190	50	80		0.44
日産エルグランド	123	195	75	70		0.43
日野レンジャー	92	170	77	70		
トラック日野黒	187	322	214	80		0.87
TS020		200	46	83		0.44
アルファロメオ		217	72	86		0.52

6.5 検証

この結果が正しいか検証するために、自作の円盤上でトラックの Cd を測定した。その後風洞を使い測定し、結果は表 3 に示す。表 4 にその他の自動車の 1/20モデル Cd も風洞で測定したが、公表値と大きな差はない。Cd の測定値は円盤装置で測定した値と風洞によるものはほぼ同じくらいなので、今回の実験が大きな過ちをおかし

ているとは考えにくい。常磐道の日立トンネルでは実際に 15km/h の風が吹いているそうである。

6.6 今後の装置

次の装置はモーター交換できるようにする。今回はトルク測定をバネ秤を使用した。次回は市販のトルクメーターを使用する。そのほか、精度を向上する予定である。