

## 山岳トンネルの坑口付近における風観測

野々村 善民

田 中 幸 彦

### 概 要

マイクロ風力発電システム(以下, 本システム)の実施適用に向けて, 某鉄道会社の協力を得て, 東海地方のトンネル近傍において風観測を実施した。

過去の鉄道軌道付近における風観測の事例は, 安全性などの制約のため, かなり少ない。今回の風観測の実施場所は土地の所有区分と安全性の確保から十分な状況とは言えない状況であった。風観測の期間は, 地域全体を通して, 風はあまり吹かない夏季である。本システムで発電した電気エネルギーが, 計測装置の電源として利用できるかどうかについて検討した。発電した電力は, ある計測装置のデータ転送に用いる携帯電話の電源(定格 3.7V, 480mAh)に利用することを前提としている。

### A Full-Scale Measurement of Wind Velocity around the Entrance of the Mountain's Tunnels

#### Abstract

A full-scale wind velocity measurement at a mountain tunnel entrance, located in Tokai district, was carried out using anemometer with the cooperation of a railroad company. The measurement was done to evaluate the applicability of a micro wind generator turbine system (hereinafter referred to “micro windmill”) to electricity sources for measurement equipment, especially for cellular phones (rated output 3.7V, 480 mAh) to transmit various measurement data.

Until now, few measurements near railroads have been implemented due to safety problems on measurement operations. In this measurement study, the same problem was identified, and the measurement period was within summer season when the wind doesn't blow strongly. Despite of these inconvenient circumstances, enough measurement results to evaluate the applicability of the micro windmill were obtained.

**キーワード:** マイクロ風力発電システム, 風観測,  
山岳トンネル, 携帯電話

## § 1. はじめに

商業電源の施設から離れた離島および山岳地域などでは、分散型発電の普及が進んでいる。特に、風観測などの計測装置は、消費電力量が少ないために、10 年以上前から太陽電池とバッテリーを利用している。山岳地域において太陽電池の利用は、植物および埃などが受光面を覆うことがないように管理する必要がある。

自然エネルギーを利用した分散型発電は、季節毎による出力が不安定になるために、太陽電池および風力発電などを組み合わせることが適している。

今回の風観測の目的は、マイクロ風車(ブレード直径 0.5m)を用いて、携帯電話の電源としての利用可能性について検討することである。

携帯電話の利用方法は、山岳トンネルに設置したある計測装置から得られるデータを1日1回の回数で転送する。

## § 2. 風観測の方法

### 2. 1 測定点の位置

図 1～図 4 に風観測の測定点について示す。風観測の観測地点は、山岳トンネルの北側である。測定点 No.1 は河川に沿って吹く風を観測することを目的として設置した。測定点 No.2 はトンネルを通過する列車風を観測することを目的としている。河川の幅は、数十mであり、水の流量も豊富である。

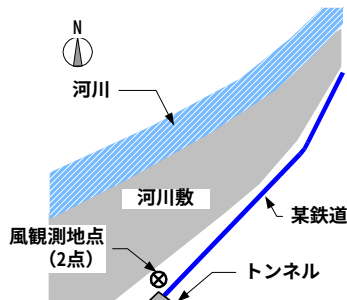


図 1 観測地点の状況

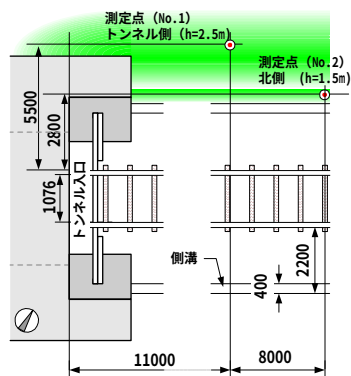


図 2 観測地点 (平面詳細図)

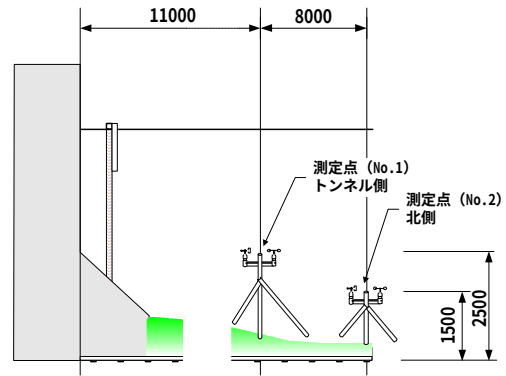


図 3 観測地点 (立面詳細図)

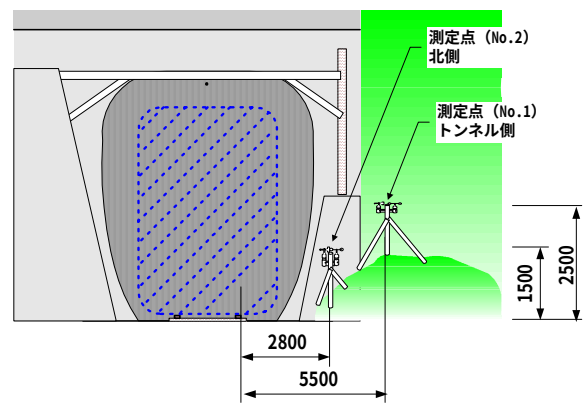


図 4 観測地点 (立面詳細図)



写真 1 測定点(No.1)



写真 2 測定点(No.2)

写真1と写真2に、各測定点の周囲状況を示す。測定点の周囲には、雑草などが茂っていた。

測定点の南側には山が迫り、南側には背の高い樹木(以下、防風林)が立ち並んでいる。

写真3に風観測の測定点の北側における状況を示す。防風林の北側には、河川敷が鉄道敷地に接している。そのため、防風林の北側は、風通しの良い状況となっている。



写真3 風観測地点の北側

## 2.2 計測機器

表1に風観測の使用した機器を示す。観測期間は、2002年8月19日～2002年11月4日である。

表1 計測機器

| 計測機器     | 台数 | 備考                                                 |
|----------|----|----------------------------------------------------|
| 三杯型風速計   | 2  | 図2-1-1参照<br>トンネル北側出口から11mと19m離れた位置で計測を行う。          |
| 矢羽式風向計   | 2  | 同上                                                 |
| 専用データロガー | 2  | 風向風速データを収録する。<br>サンプリング周波数 0.5Hz, 10 分間統計値を連続計測する。 |

## §3. 観測結果

### 3.1 風向別風速発生頻度

表2～3にトンネル側(No.1)と北側(No.2)における風速発生頻度を示す。風速は10分間平均風速である。測定点の風速は弱く、最大ランク風速は3m/sとなっている。測定点付近は、防風林と山に挟まれているため、風環境は穏やかなものとなっている。

表2 トンネル側(No.1)の風速発生頻度  
(10分間平均風速)

| Wind Speed | NNE  | NE   | ENE  | E    | ESE  | SE   | SSE  | S   |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 0          | 119  | 88   | 201  | 1156 | 1462 | 893  | 1438 | 82  |
| 1          | 61   | 15   | 25   | 264  | 236  | 155  | 281  | 27  |
| 2          | 7    | 1    | 7    | 147  | 78   | 26   | 31   | 4   |
| 3          | 1    | 0    | 0    | 3    | 1    | 1    | 2    |     |
| Total      | 188  | 104  | 233  | 1570 | 1777 | 1075 | 1752 | 114 |
| 風配         | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.14 | 0.16 | 0.10 | 0.16 | 0.1 |

| Wind Speed | SSW  | SW   | WSW  | W    | WNW  | NW   | NNW  | N   |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 0          | 750  | 549  | 214  | 101  | 96   | 83   | 172  | 21  |
| 1          | 214  | 240  | 62   | 13   | 21   | 30   | 155  | 19  |
| 2          | 7    | 4    | 0    | 1    | 7    | 27   | 105  | 11  |
| 3          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 3    |     |
| Total      | 971  | 793  | 276  | 115  | 124  | 141  | 435  | 52  |
| 風配         | 0.09 | 0.07 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.0 |

表3 北側(No.2)の風速発生頻度  
(10分間平均風速)

| Wind Speed | NNE  | NE   | ENE  | E    | ESE  | SE   | SSE  | S   |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 0          | 30   | 45   | 666  | 2374 | 1402 | 613  | 427  | 62  |
| 1          | 12   | 22   | 288  | 329  | 78   | 28   | 24   | 10  |
| 2          | 0    | 0    | 77   | 29   | 5    | 1    | 4    | 1   |
| 3          | 0    | 0    | 2    | 1    | 0    | 0    | 0    |     |
| Total      | 42   | 67   | 1033 | 2733 | 1485 | 642  | 455  | 73  |
| 風配         | 0.00 | 0.01 | 0.09 | 0.24 | 0.13 | 0.06 | 0.04 | 0.0 |

| Wind Speed | SSW  | SW   | WSW  | W    | WNW  | NW   | NNW  | N   |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 0          | 1049 | 218  | 205  | 173  | 111  | 58   | 50   | 2   |
| 1          | 1297 | 172  | 30   | 143  | 215  | 80   | 8    |     |
| 2          | 94   | 4    | 1    | 11   | 68   | 12   | 2    |     |
| 3          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |     |
| Total      | 2440 | 394  | 236  | 327  | 394  | 150  | 60   | 2   |
| 風配         | 0.22 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.0 |

図5に各測定点における風配図を示す。風配を算出した際の風速は、1m/s以上の10分間平均風速である。トンネル側(No.1)における卓越風向は、E(風は軌道東側の山から吹き降ろしている)となっている。次に風向風速発生頻度(風配)が高くなっている風向は、N(風は樹木とトンネル

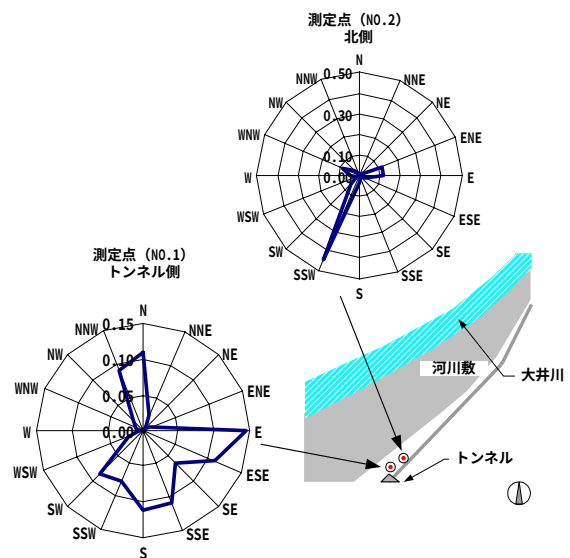


図5 各測定点の風配図  
(10分間平均風速, 1m/s以上)

の間から吹き込んでいる), S (トンネル) となっている。トンネル側 (No.1) 付近の風は、軌道東側の山側から吹いており、風向にバラツキが見られる。これは、鉄道軌道から離れるに従い、トンネル入口付近の風の乱れが大きくなっていることを示している。

北側 (No.2) における卓越風向は、E と SSW となっている。No.2 は鉄道軌道に近い位置にあるため、風向を示すことができる風は、トンネルから吹き出る風 (以下、トンネル風) が大部分を占めている。

### 3.2 風速の変動

観測期間において、風が比較的強くなってきた時期 (11 月 4 日) の風速、風向、ガストファクターの変動について示す。

図 6 に、2002 年 11 月 4 日のトンネル側 (No.1) の風速の変動を示す。図中には、10 分間平均風速 (Mean)、最大瞬間風速、乱れを考慮した風速 ( $\text{Mean} \pm \sigma$ ) をプロットしている。10 分間平均風速が 2m/s であっても、最大瞬間風速が 6m/s を越えている時間帯がある。これは、防風林西側の河川敷では、測定点付近に比べ、かなり強い風が吹いていることを示す。

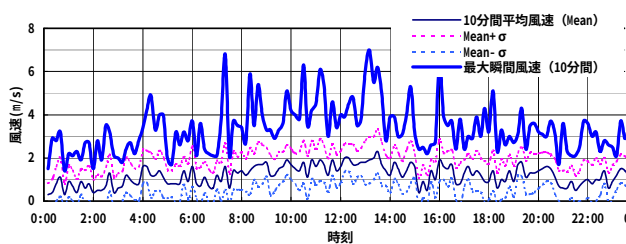


図 6 トンネル側 (No.1) の風速の変動  
(2002 年 11 月 4 日)

図 7 に、トンネル側 (No.1) における図 6 と同時刻のガストファクターの変動を示す。1 日中を通して、ガストファクターは概ね 2 以上となっている。ガストファクターが 3 を越える時間帯も生じている。測定点のトンネル側 (No.1) においては、瞬間的に強い風が吹き込んでおり、河川敷では強い風が吹いているものと思われる。

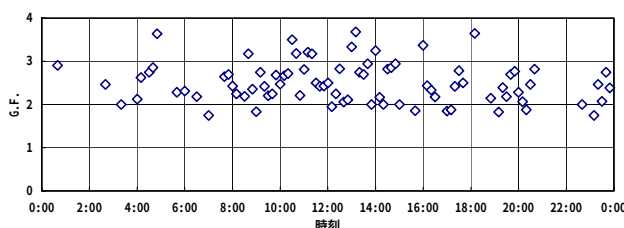


図 7 トンネル側 (No.1) のガストファクター  
(2002 年 11 月 4 日)

図 8 に、トンネル側 (No.1) における 2002 年 11 月 4 日の平均風向の変動を示す。1 日中を通して、平均風向は、東側 (E, ESE, SE) と北西側 (NW, NNW) になっている。測定点付近の風向は、測定点東側の山から吹く風と鉄道軌道に平行に吹く風になっている。

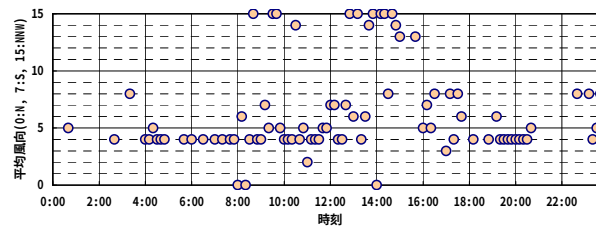


図 8 トンネル側 (No.1) の 10 分間平均風向の変動  
(2002 年 11 月 4 日)

### 3.3 トンネル付近における風の流れ

図 9 に、河川に沿って北風が吹いた場合の、鉄道軌道上における風の流れ方 (イメージ図) を示す。鉄道軌道西側の樹木は防風林となり、鉄道軌道上の風環境は、穏やかな状況となっている。

北風は、防風林により剥離し、山に向かって流れているものと思われる。防風林からの剥離流により、鉄道軌道上に渦状の流れ場が形成されているものと思われる。

防風林を外れた北側の鉄道軌道上では、河川に沿って流れる風が直接吹き込んでいるものと思われる。

鉄道軌道にほぼ直交した渦が螺旋状に形成しながら、北側の河川敷からトンネル入口に向かって、弱い風が吹き込んでいるものと思われる。

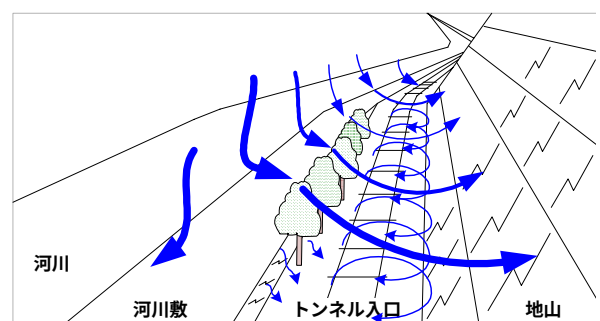


図 9 トンネル北側の鉄道軌道上における北風の流れ方 (イメージ図 (2002 年 11 月 4 日))

図 10 に河川に沿って南風が吹いた場合の、鉄道軌道上における風の流れ方 (イメージ図) を示す。トンネルが南側の山を貫いているため、トンネルの南側と北側において、圧力差が生じ、トンネル風が鉄道軌道に沿って吹き抜けているものと思われる。鉄道軌道西側の防風林により、河川



に沿って流れる南風は鉄道軌道上に入りにくくなっているものと思われる。

注目すべき点は、風力エネルギーではなく、北側 (No.2) において、僅かな風速のトンネル風が観測されていることである。トンネル入口近傍においては、トンネル風が鉄道軌道に平行に吹いている。例えば、夏季の外気温度が 30℃を超える時間帯で、河川に沿って南風が吹いた場合、トンネル内部において冷やされた冷気 (外気に比べ高い密度) がわずかに拡散しながら流れていることが想像できる。風観測装置の設置日において、トンネル入口から北側へ数 10m の位置において、トンネル風が流れていることを体感できた。

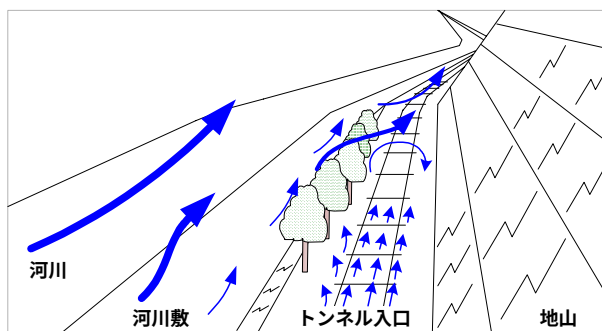


図 10 トンネル北側の鉄道軌道上における南風の流れ方 (イメージ図 (2002 年 11 月 4 日))

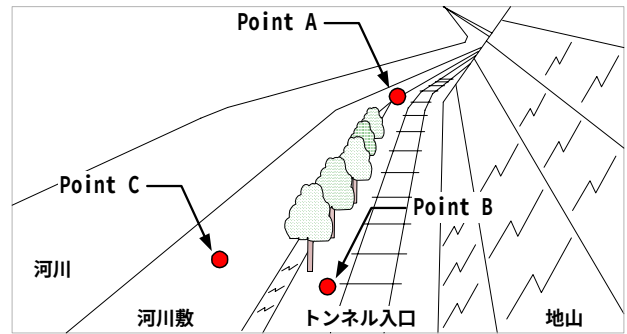


図 11 マイクロ風車の設置場所 (イメージ図)



写真 4 Point A の状況

## § 4. マイクロ風車の設置計画

### 4.1 マイクロ風車の設置場所

トンネル北側の鉄道軌道における風の流れに基づき、マイクロ風量発電システムの設置場所 (提案) を、図 11 に示す。

- ・ 鉄道軌道横の樹木の北側における鉄道軌道敷地境界線付近 (Point A)
- ・ 風観測の測定点付近 (Point B)
- ・ 鉄道軌道横の樹木の西側における河川敷 (Point C)

マイクロ風力発電システムは、複数台の設置とする。

Point A と Point C においては、風車の向きは、河川に平行に南北方向とする。Point B においては、風車の向きは、北側と東側に向ける。

### 4.2 マイクロ風車 (1基) の発電量の試算

2つの測定点における風観測データから風力エネルギー (E) を算出する式を以下に示す。

$$E = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u^2 \times u \cdot A$$

風観測データで 10 分間平均風速を用いた場合、1 日あたりの積算風力エネルギー (Ed) は次式となる。

$$E_d = \sum_{i=1}^{144} \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u(i)^2 \times u(i) \cdot A \times dt$$

$$E_d = \sum_{i=1}^{144} 0.1202 \times u(i)^3 \times dt$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

Ed : 1 日あたりの積算風力エネルギー (W・h)

D : 0.5(m)

ρ : 1.225(kg/m³)

dt : 平均風速の統計時間(h), 10 分間平均風速を用いた場合は、10 min → 1/6 hour となる。2 秒間平均風速の場合は、1/1800 hour となる。

風力エネルギーを試算するに当たって、風向変動の補正は行っていない。

2つの測定点ともに、風環境が穏やかであったため、発電量は、0.87Wh と 0.16Wh (2002 年 8 月 19 日～2002 年

11月4日、約2.5ヶ月間)になっている。風観測を実施した時期は、夏季から秋季の間であったため、測定点付近において発電量は、ほとんど見込めない。しかし、冬季および春季では、河川に沿って流れる風は、今回の観測期間と比べて、強く吹くと思われる。測定点付近においても、季節によっては、マイクロ風力発電システムによる電源確保は可能であると思われる。

自然放電による蓄電池の消耗を防ぐために、電源は風力発電と太陽電池のハイブリッドで利用することが望ましいと考えられる。太陽電池は Point A に設置することを提案する。

## § 5. おわりに

本研究の目的である計測システムのデータ転送用携帯電話の電源は、マイクロ風力発電システムと太陽電池パネルを利用する。マイクロ風力発電システムは、図 12 に示すポール（以下、風車ポール）に取付ける。

マイクロ風力発電システムは河川に沿って流れる北風と南風に対して設置する。取付けポールには、マイクロ風力発電システムは2台ずつ設置しているため、合計4台のマイクロ風力発電システムで風力発電を行うことになる。仮定している電気負荷は携帯電話の電源であるため、取付けポールの下部に、太陽電池パネルを補助電源として設置することを提案する。現時点では、発電量は高い精度で試算できないが、携帯電話の電源は十分に確保できるものと思われる。

Point B（北側、No.2）においては、マイクロ風力発電システムを4台（取付けポールは2本）は東風と南風に対して設置することを提案する。今回の風観測データから推定できる発電量は、0.32Wh（2002年8月19日～2002年11月4日）になるものと思われる。

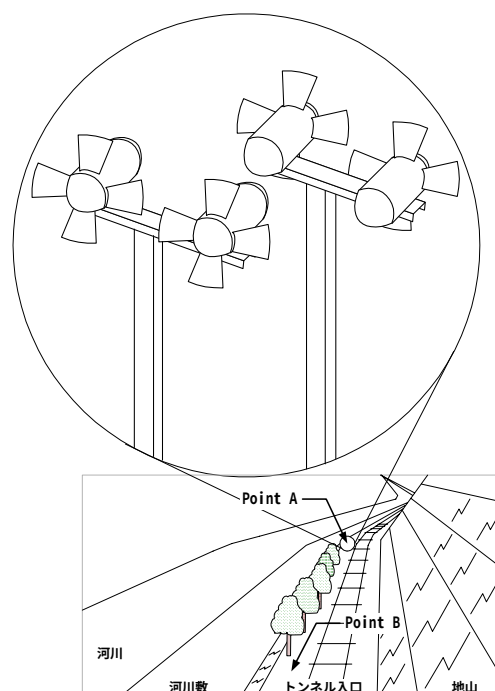


図 12 Point A におけるマイクロ風車の設置状況（案）

## 参考文献

- 1) 福地合一：長大鉄道トンネルの換気に関する理論とその応用例について、鉄道技術研究報告 No.1076（施設編第 478 号）、1978 年 3 月
- 2) 野々村善民・中山昌尚・小林信行：建築物を利用した風力発電技術に関する研究（その5）、日本建築学会大会学術講演梗概集（計画系）、pp513-514、2002 年 8 月

## ひとこと

苦しい研究開発段階では、社内外から多くの暖かい支援を頂きました。言葉にできないほど、感謝の気持ちで一杯です。これから、私はマイクロ風車に新しい息吹を入れるため、実用化技術の開発に取り掛かります。



野々村 善民