

# 積雪寒冷地における道路施設を利用した発電技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21

担当チーム：寒地道路保全チーム

研究担当者：熊谷 政行、石田 樹、  
三田村 宏二

## 【要旨】

道路施設を利用した発電（道路発電）技術の実現可能性を調査した。対象とした技術は、圧電素子を舗装の下に埋め込み車両の载荷によって発電する技術、橋梁などの振動する部材のたわみエネルギーを電力に変換する技術、中央分離帯や車道の脇で車両の風圧による発電する技術、熱電素子によって舗装体が夏場に高温になる熱や冬期間の低温時などに発電する技術を対象とした。

そして、得られる電力の利用例を、発光ダイオード(LED)を道路施設照明等に使用する場合の研究開発上の課題点を明らかにした上で、LED 道路照明、IC タグへの使用事例と普及の可能性について調査したので結果を報告する。

キーワード：環境 発電 LED IC タグ

## 1. はじめに

近年、運動エネルギーや光エネルギー、熱エネルギーといった環境エネルギーを、圧電素子や太陽電池、熱電素子、電磁誘導などを利用して電力に変換することが出来る技術が発達してきている。この電力を照明や安全施設の電源として活用できれば CO<sub>2</sub> 排出量削減やメンテナンスコスト削減に繋がる。

重車両の絶え間ない载荷や激しい気象環境に直接曝される道路施設の特徴を生かし、道路施設においてしか得られない“ローカルエネルギー”を活用した発電技術は将来の有望なシーズとなりうるものである。

民生部門などでは白熱電球をコンパクト蛍光灯や発光ダイオード(LED)など消費電力の少ない高効率な光源へ交換する取組みがなされている。道路分野においても LED を照明施設に適用することや IC タグに利用することで道路施設に要するライフサイクルコストと CO<sub>2</sub> 排出量を削減できる余地があると思われる。本研究では現在の発電技術及びその適用の可能性について調査した。

## 2. 環境エネルギーが関係する発電技術と適用方法

環境エネルギーを電力に変換することの出来る技術はエネルギー・ハーベスティング（環境発電）技術と呼ばれ、さまざまな種類が研究・開発されてい

る。この技術により変換された電力は、道路照明やトンネル照明といった電力消費の大きな施設に適用出来る可能性がある。また、蓄電されたり、無線通信インターフェイスを搭載したセンサーや監視装置等にも電源として供給され、今後はケーブル接続や電池交換などを不要にすることも可能となると思われる。本研究では、現時点において、研究・開発されている発電技術の現状、及びその発電技術によって作られた電力の適用可能性がある施設として考えられている、省電力な LED を使用した照明施設や IC タグを利用した技術の現況について報告する。

### 2. 1 発電技術の現状

現時点において研究・開発されている発電技術にはいくつかの方式がある。以下に道路施設に利用が可能と考えられる発電技術を示す。

#### （1）振動を利用した発電

車両が走行することにより発生する運動エネルギーは载荷重（圧力）、たわみ、風などが考えられている。これらのエネルギーを利用した発電技術は、「圧電式」、「電磁誘導式」、「静電式」と呼ばれる振動を利用した方式が用いられている。発電の仕組みとその開発・使用事例を紹介する。

1) 圧電式

圧電効果（特定の方向から力を加えることで、電気分極が誘起され、正負の電荷が発生する）と呼ばれる現象が発生する性質を持つ圧電体を用いて作られた圧電素子を利用した発電技術のことをいう（図-1）。

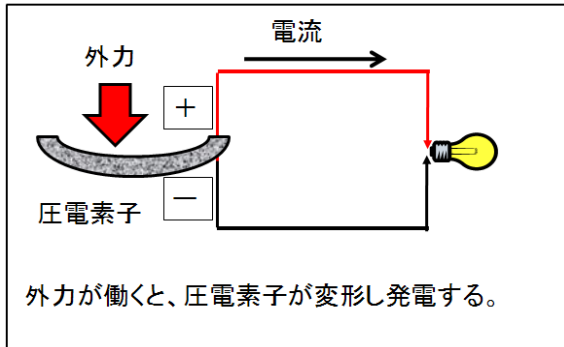


図-1 圧電式発電の仕組み

(事例)

- ①橋梁下部に設置した振り子型振動力発電装置を用いて自動車が行く時の振動を利用した発電技術。<sup>1)</sup>
- ②呼吸や歩行などの人体運動によって発電ゴムフィルムを振動させる発電技術。ペースメーカ、携帯電話などへの給電が可能。<sup>2)</sup>
- ③発電デバイスを車の屋根や後部、飛行機の機体に取り付け、気流によるデバイスの振動を電力として取り出す発電技術。<sup>3)</sup>

2) 電磁誘導式

フレミングの右手の法則を応用した方式で、コイルの中の磁界が変化すると電流が生まれる現象を利用している。コイルと磁石を用いる（図-2）。

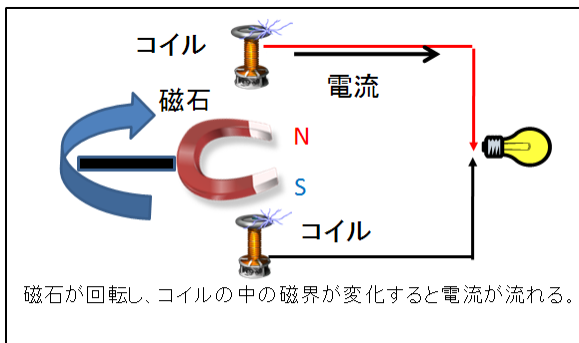


図-2 電磁誘導式発電の仕組み

(事例)

- ①自動車が走行することにより発生する風圧により発電装置を振動させて発電を行う技術。<sup>4)</sup>
- ②水中につながれた物体が水流の中で上下に動くとする現象を利用し、水中の渦によって振動が励起される「渦励振」という現象によって発電させる技術。<sup>5)</sup>
- ③歩行によって発生する人体が振動することによって磁石が振動し誘導電圧を発生させる技術。<sup>6)</sup>
- ④周囲環境に存在するRF（高周波）から電力を回収して電子デバイスを駆動する技術。<sup>7)</sup>

3) 静電式

電荷を帯びた素子（エレクトレット素子）を配置し、対極にも同様に素子を配置する。両方の位置関係がずれることによって電力が生じる（図-3）。

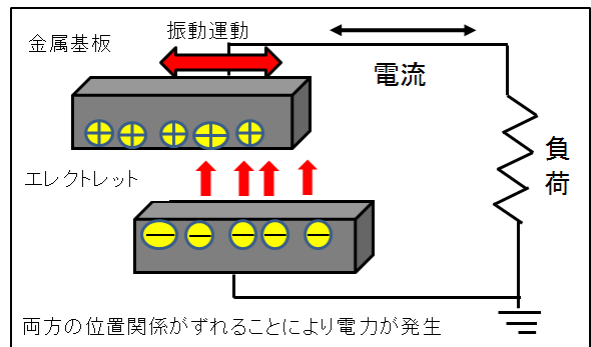


図-3 静電式発電の仕組み

(事例)

- ①橋の裏面にセンサーと発電機を一体型にした正方形のユニットを設置し、無線機から429MHz帯の信号を出力する。約100m間隔で橋などに設置したセンサーに電力を供給し、同時に振動発電機自体を振動センサーとして用いて地震情報を走行中の自動車に送信することが可能。<sup>8)</sup>

(2) 温度差を利用した発電

舗装体が夏場に高温になる熱や冬期間の冷熱を利用して発電する技術。熱電素子のゼーベック効果を利用した方法が考えられている。

その仕組みと適用事例について示す。

1) ゼーベック効果

2 種類の異なる金属で構成された接合回路に片方を加熱して、もう片方を冷却すると接合回路の端子間に開放電圧が生じる。端子間に外部抵抗を接続すると電力を取り出すことができる。(図-4)

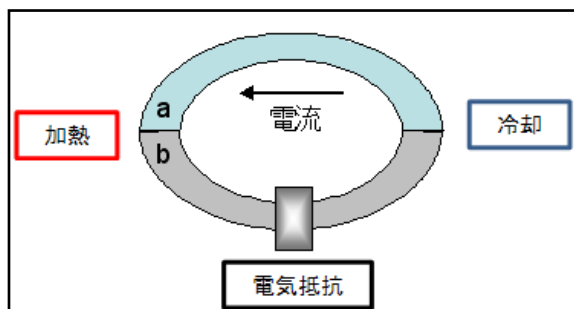


図-4 ゼーベック効果の概念

(事例)

- ①都市部での舗装熱を用いた熱電素子による路面発電システム。都市部における温度上昇の緩和する効果も期待できる。<sup>9)</sup>
- ②発電しながら走る電気自動車。ガスを燃焼させて発電装置の片面を過熱し、裏面を水で冷却することで電力を得て、その電力を一旦バッテリーに蓄電して、モーターを回す。<sup>10)</sup>
- ③体温と外気の温度差で発電する腕時計や冷蔵庫。

2. 2 LED を使用した道路照明施設

LED の特徴として寿命が長いことや点灯特性が優れていること、照明設計の自由度が高いことなどがある。CO2 削減やライフサイクルコストの縮減が期待されており、LED はさまざまな設備に利用され

ている。道路照明や交通安全対策の適用が可能と思われる施設について、LED と既存照明灯の比較や国内外における使用事例・研究事例について紹介する。

(1) 発光ダイオード(LED)の特徴

表-1 に道路照明に使用されている光源の種類と特徴を示す。道路照明には、蛍光水銀ランプが一般的に使用されてきたが、最近ではコストが安価であるナトリウムランプが使用されてきている。

LED については、表-1 の最下段に光源の特徴が記載されている。温度の影響を受けることが、課題となっているが、表-2 に示す製造販売会社の資料<sup>12)13)</sup>では、雰囲気温度が 35℃以上の場合、適用が厳しいとされている。北海道の夏期においては 35℃以上の高温にならないので、温度条件については問題とされない。ただし、振動や衝撃を受ける箇所、湿度の高い箇所、粉塵の多い箇所、海岸に近い塩害地域、積雪・氷結がある地域は適用に当たっては検討する必要がある。

表-3 に LED、蛍光水銀ランプ、および高圧ナトリウムランプのランニングコストの比較を示す。LED は消費電力において蛍光水銀ランプと比較し 65%、高圧ナトリウムランプと比較し、30%程度の削減が可能である。CO2 削減も同程度の削減が可能である。また、ランプ寿命も蛍光水銀ランプと比較し、3.3 倍、高圧ナトリウムランプと比較し、1.6 倍と長く、経済的である。

表-1 光源の種類と特徴<sup>11)</sup>

光源の種類	光色	演色性	温度の影響		調光	瞬時再始動	
			効率	始動			
高圧ナトリウムランプ	始動器内蔵形	黄白色	普通	なし	なし	段調光可	不可
	両日金形	白色	良い	あり	あり	段調光可	可
蛍光ランプ	高周波点灯専用形・直管形	白色	良い	あり	あり	連続調光可	可
	高周波点灯専用形・2本管形	白色	良い	あり	あり	連続調光可	可
	高周波点灯専用形・無電極形	白色	良い	あり	あり	段調光可	可
	ラピッドスタート形	白色	良い	あり	あり	連続調光可	可
メタルハライドランプ	白色	良い	なし	なし	不可	不可	
セラミックメタルハライドランプ	白色	良い	なし	なし	※	※	
蛍光水銀ランプ	白色	良い	なし	あり	段調光可	不可	
低圧ナトリウムランプ	橙黄色	悪い	なし	なし	不可	可	
発光ダイオード(LED)	白色	良い	あり	あり	可	可	

表-2 LEDを屋外用器具として利用する場合の留意事項<sup>12)13)</sup>

LEDを使用する上で使用が望ましくない箇所	
①	雰囲気温度が35℃を超える箇所
②	振動、衝撃の激しい箇所
③	腐食性ガス、可燃性ガスの生じる箇所
④	湿度の高い箇所(85%以上)および水に浸る箇所
⑤	粉塵の多い箇所
⑥	海岸に近い塩害地域
⑦	器具に1mを超える新雪もしくは相当する積雪・氷結がある恐れがある箇所

表-3 LEDと既存照明灯との比較<sup>12)</sup>

	水銀灯400KW	LED	高圧ナトリウム灯 180KW
消費電力(KW)	470	165	240
10年間電気料金(円)	約320,000	約110,000	約160,000
10年間CO2排出量(t)	約7.3	約2.6	約3.7
ランプ寿命(時間)	12,000	40,000	24,000
	水銀灯400KW	LED	高圧ナトリウム灯 180KW
消費電力(KW)	約65%省エネ	-	約30%省エネ
10年間電気料金(円)	約21万円削減	-	約5万円削減
10年間CO2排出量(t)	約65%削減	-	約30%削減
ランプ寿命(時間)	約3.3倍	-	約1.6倍
※1:(社)建設電気技術協会「道路・トンネル照明器材仕様書(平成20年度改訂)」による			
※2:電気料金目安単価は17円/KWh(税抜)、年間点灯時間4000時間で計算			
※3:CO2排出量は0.39kg-CO2/Kwhとして試算			
※4:光束維持率70%時			

### ① トンネル照明 (研究事例)<sup>14)</sup>

宮崎県において国内初のLEDによるトンネル照明設置されており、省エネ、CO2削減効果が期待されている。このトンネルに使用されているLEDは、基本照明41台、非常灯式基本照明15台を設置している。使用しているLEDの特長は低発熱、低消費電力、長寿命(60,000時間)、紫外線が少なく虫が寄りにくい、水銀などを含まずリサイクルが容易である。などが挙げられる。

今後、トンネル照明に使用されたLEDが粉塵、振動および湿度の影響等により耐久性に問題が生じないか、確認する必要があると思われる。

### ② 視覚障害者誘導用ブロック<sup>15)</sup>

NETIS新技術情報システムに登録されている「自発光ブロック(フラッシュドット)&自発光誘導ブロック(フラッシュライン)」を紹介する。従来型の点字ブロック、誘導ブロックにLEDを用い、上面が自発光する機能を付加させた製品である。使用する電力は一般交流電源、直流電池電源のどちらでも使用可能である。この製品を活用することにより、交通弱者(弱視者、高齢者、子供等)の危険性認知度が向上し、高い安全性を確保できることが期待できる。

### ③ 車線分離標(ラバーポール)<sup>15)</sup>

NETIS新技術情報システムに登録されている「ポールコーン太陽電池式自発光ベース」を紹介する。

車線分離標本体と設置ベース(アンカーキャップ)の間に、太陽電池を利用した発光体(LED)を備えた車線分離標である。夜間ドライバーへの注意喚起および視認性を高めた技術である。従来品では、車両のヘッドライトが届かない場所からは反射シートによる注意喚起ができなかった点を改善した製品である。

### ④ LED発光体を用いた注意喚起(研究事例)<sup>16)</sup>

アメリカのITS技術を紹介する。歩行者が横断歩道を渡ろうとすると路面に埋設したLEDが点滅しドライバーの注意を喚起する。歩行者の、行速度が遅い場合、点滅時間を自動的に延長する。電源は太陽電池が一般的となっている。このような交通安全対策は日本では事例がないので、興味深い使用方法である。

## 2.3 ICタグを活用した技術

ICタグとは集積回路(IC)とアンテナを内蔵したタグであり、アンテナとコントローラーを内蔵したリーダー等により非接触でデータの読み込み、書き込みが可能である。また、バーコードよりも大容量のデータを記憶させることが可能なことや、汚れや遮断物があっても通信ができる等の特徴がある。このような特徴から道路の分野でも、調査・測量、施工、維持管理、交通案内等に広く使用されており、その種類として大きくパッシブ(受動型)とアクティブ(能動型)の2種類に分けられている。アクティブ型のICタグについては電源を必要とするが、現在は蓄電池により賄われている。環境エネルギーを電力に変換する技術によって発生した電力が電源として使用できれば、その使用の幅は広がる可能性があると思われる。現時点における使用事例や研究事例を紹介する。

### ① 車載モニタ静的視覚情報表示システム<sup>17)</sup>

車のドライバーは動的視覚情報（他車、交通信号）および静的視覚情報（標識）を収集し、それらに従って車を操縦することを求められる。しかし、信号および静的視覚情報は動的視覚情報よりも見落とされがちである。IC タグを路面に埋設し、車載リーダでその情報を読み取り、車載モニタに静的視覚情報（制限速度など）を表示するシステムの実証実験を行っている。このようなシステムが実用化されれば安全運転の支援に活用できることが期待される。

### ② 無線 IC タグを利用した橋梁診断測定方法<sup>18)</sup>

構造物の健全度を診断する方法として、構造部の振動を計測する従来の計測機械は、センサ、アンプ、レコーダの容量も大きく、外部電源が必要であることから計測手法にも制約が多い。しかし、無線ICタグとの組み合わせにより、電池駆動で長期的な計測が可能となってきた。

研究事例では、橋梁に取り付けた加速度センサタグは常時振動を観測し、計測要求をPC から受けると10秒間振動データをサンプリングし、固有振動数を算出し、その結果をPC に送信することが出来る橋梁振動測定方法が検討されている。

### ③ 重機に取り付け安全管理に利用<sup>19)</sup>

土木工事では、安全教育を実施しているが、労働災害を完全に無くすことは難しいのが実態である。建設現場におけるヒューマンエラーを極力少なくし、安全管理を支援するシステムを紹介する。

取り組み事例として、ICタグを作業員のヘルメットに装着し、アンテナ、レシーバ及び警報機等を重機に設置する。作業員が重機に接近すると、ICタグから発信される信号をレシーバが検知し、警報機を作動させて重機オペレータに作業員接近を知らせることが出来る。検知距離は10m程度であり、状況に応じて調整が可能となっている。なお、ヘルメットの装着タグは、小さくて軽量のため、作業の邪魔にはならない。必要な保守管理は10ヶ月程度を目途に電池交換を実施している。

### ④ ユビキタス道路メンテナンス情報収集システム<sup>20)</sup>

RF-ID(Radio Frequency Identification)タグおよび各種センサを部材等に貼り付け、保守点検、管理業務の効率化・高度化を目指したシステムである。シス

テムには以下の特長がある。

- ・高速道路に設置された RF-ID と各種センサを利用し、施設・機器の状況を無線によって情報を収集できる。
- ・異常箇所の特定は、時速 80Km の走行中の車両からでも異常箇所の位置を特定できる。
- ・センサで得られた詳細データは、数十メートル離れた地点からでも携帯端末に情報を収集することが可能である。
- ・RF-ID には ucode が格納されており、多くの情報を蓄積することが可能である。

### ⑤ 東京都ユビキタス計画<sup>21)</sup>

東京都では国土交通省と連携し、ユビキタス ID 技術を活用し、ユニバーサルデザインのまちづくりを目指して平成 18 年「東京都ユビキタス計画」を策定している。この計画の中では IC タグ実証実験を実施している。この中では自律移動支援実験を行い、自律移動支援サービスの提供を実施した。身体的状況、年齢、言語等を問わず、移動等に関する情報を提供したサービスである。①現在位置案内、②トイレ等施設情報提供、③経路探索、④移動案内、⑤注意喚起、⑥緊急情報の 6 項目が情報サービスとなっている。一般参加者(802 人)の中では約 6 割の方が役立ったと調査結果で報告があった。障害者の参加(9 人)は少なかったが、67%の方が役に立ったとの回答を得ている。

このようなユビキタス ID 技術は、積雪寒冷地である北海道において、積雪寒冷地特有な情報（冬期間の路面状態等）を追加し、より地域に密着したシステムに改良が可能である。

## 2.4 振動力発電を用いた道路施設発電

今回の調査では圧電素子を利用した振動による発電の研究開発を行っている「株式会社 音力発電」（以下：(株)音力発電）の振動力発電に注目した。(株)音力発電では実証実験として慶應義塾大学と JR 東日本(株)と共同で東京駅構内において実証実験を行っており(2008 年 1 月～3 月)、歩行者が発電装置を踏むことによる振動によって電力が発生する装置を、駅構内約 90 平方メートルに設置し、500kw/秒（100w の電球を約 80 分点灯する電力量）の発電量を達成したという。また、振り子を応用した発電装置（図-5）により振動力発電をおこない、首都高速道路（株）と共同で、橋梁のイルミネーション照

明の電力の一部を賄っている。この装置は首都高速道路の五色桜大橋の下部（図-6）に設置してあり、道路を走るクルマの振動エネルギーを電気エネルギーに変換し発電することができる。現在では10台設置してあり、その能力は平均0.1w（2008年11月現在）程度となっている。今後においても随時増設予定で、ゆくゆくはライトアップの電力（全体で1.7kw）の100%を賄うのが目標となっている。<sup>22</sup>なお、(株)音力発電では定期的に発電技術のセミナーを開催しており、そのセミナーに参加した際に、（2009年12月3日開催）振動力発電の道路施設への適用性について、次のような意見を得られた。

「現在とある会社と共同で、室内において舗装に直接埋め込んだ場合の強度等の確認をしているところである。」といったことや、「積雪寒冷地では前例が無く、試験は行っていないが、結露が発生する恐れがあり、圧電装置が機能を満足できなくなる可能性がある。低温域では素子ではなく配線などの他の部品に影響が出てしまうかもしれない。また、過去に行った歩行者を対象とした実証実験の際にアスファルトの熱で防水部が溶けてしまい、装置が故障したことがあった。」などといった話を聞くことが出来た。このような意見は今後、積雪寒冷地における適用を考えた際に重要すべき点と思われる。

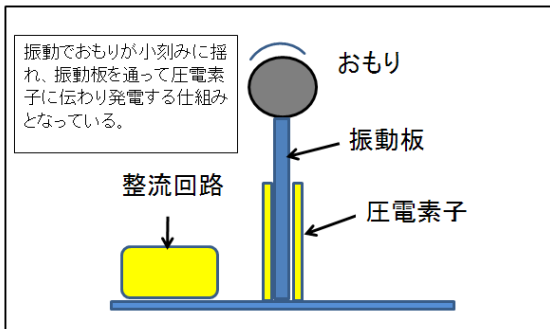


図-5 振動力発電装置設置のしくみ



図-6 振動力発電装置設置箇所

### 3 調査結果

今回の調査から発電技術の現状と道路施設への適用に関しては次のようなことが確認できた。

- ・(株)音力発電が行った東京駅での実証実験の結果から、発電装置を踏んだ時に発生する振動を利用した発電技術の期待は大きいと思われる。
- ・車両が走行する時の振動によって発生する橋梁のたわみを利用した発電技術は発電量が少ないが、今後の研究次第で発電量は増える可能性があると言われている。
- ・温度差（熱電素子）を利用した発電は、すでに実用化されているが、現場条件によりその発電量には差が生じている。消費電力の少ない設備への使用は可能だと思われる。
- ・LEDの道路照明施設への適用性については、初期コストが高いが、CO2の削減の効果が大きい、ランニングコストについても安価となるため、適用性は高い。
- ・ICタグはすでに広く実用化されており、その消費電力の少なさからも、道路施設を適用した発電技術と組み合わせることが可能だと思われる。

以上のことから、現時点で適用可能と思われる発電技術と電力適用の案として、走行車両の振動力を利用してICタグの電源として使用し、道路施設の管理、道路情報の提供等に活用することが考えられる。

#### (例) ICタグを用いた道路情報提供システム

ICタグなど道路施設管理に適用可能なIT技術が開発されている。道路施設情報を記録したICタグの設置による道路施設管理への活用や、冬期の雪中に埋まった道路施設の管理への適用、道路利用者へのICタグを活用した情報提供など道路管理の高度化が考えられる。（図-7）

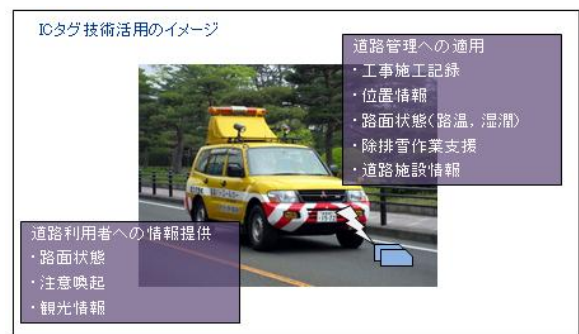


図-7 ICタグの技術活用イメージ図

#### 4 まとめ（考察）

道路環境には交通による振動、風などの未利用エネルギーを利用した技術が存在し、これらは従来技術に対して省エネが図られる。

現時点における発電技術については研究段階であり、実用化に至っていない技術が数多くあった。今後は技術が発達することにより、さまざまな道路施設や IC タグを利用した装置等に適用出来る可能性があると思われる。

#### 参考文献

- 1) 速水浩平：「振動力発電のすべて」、2008年12月20日発行
- 2) Princeton University 「Energy-Harvesting Rubber Chips Could Power Pacemakers, Cell Phones」 Jan. 28, 2010
- 3) A group of researchers at the City College of New York 「Generating Electricity from Air Flow」Nov. 23, 2009
- 4) 北川徹哉、嶋澤善大：「自動車励起ガストエネルギーを利用した発電の試み」日本風工学会論文集 第32巻第2号(通号第111号)平成19年4月
- 5) R. Colin Johnson：EE Times、翻訳：松永恵子、編集：EE Times Japan 「魚の泳法にヒントを得た水力発電装置、米大学が開発」2008/11/28
- 6) 中山 敦志 中野 公彦 斉藤 俊 「人の歩行周期と共振する機構を用いた携帯型発電器」日本機械学会 [No01-5] Dynamics and Design Conference 2001
- 7) Patrick Mannion：EE Times、翻訳：松永恵子、編集：EE Times Japan 「テレビ放送波から電力を回収、インテル社がエネルギー・ハーベスト技術を披露」2009/01/27
- 8) 畑陽一郎 「振動発電装置の試作相次ぐ、環境から微小電力を取得可能」EE Times Japan 2008/12/17
- 9) 木嶋 健、明嵐 政司：「熱電素子で構成された路面発電システムによる気温への影響」舗装 36-9 (2001年)
- 10) 大阪産業大学 「熱電素子を使った電気自動車を世界で初めて開発」プレスリリース 2008/5/9
- 11) 社団法人 日本道路協会：道路照明施設設置基準・同解説、pp139、平成19年10月
- 12) 岩崎電気株式会社ホームページ：道路・防犯・トンネル照明
- 13) 東芝ライテック株式会社ホームページ：東芝 LED Lighting Vol. 17
- 14) 宮崎日日新聞ホームページ：「照明に LED 使用 西米良板谷トンネル」2009. 5. 12
- 15) 北海道開発局ホームページ：NETIS 新技術情報提供システム
- 16) U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration ホームページ
- 17) Yoshimichi Sato Koji Makanae 「Development and Evaluation of In-vehicle Signing System Utilizing RFID tags as Digital Traffic Signs」International Journal of ITS Research, Vol. 4, No.1, December 2006
- 18) 斎藤 修、安原 一哉、桑原 祐史、中嶋 紀夫：「無線 IC タグを利用した水戸市千歳橋での橋梁振動測定方法の検討」土木学会第62回年次学術講演会（平成19年9月）
- 19) 鹿島建設：「ICタグで重機周りの安全管理」プレスリリース 2008/04/24
- 20) 株式会社 ネクスコ東日本エンジニアリング ホームページ
- 21) 東京都ホームページ
- 22) 首都高速道路株式会社 ホームページ
- 23) JR 東日本 ホームページ