

LED 発光パネル（ペースメーカー） を活用した渋滞緩和対策

NEXCO東日本 本 社 管理事業本部 交通部 交通課
東北支社 管理事業部 交通技術課
関東支社 管理事業部 交通技術課

1. はじめに

NEXCO 東日本における高速道路での渋滞発生状況は、交通集中を原因とする渋滞が約 7 割を占めており、その内、上り坂及びサグ部での渋滞が約 7 割となっている。上り坂及びサグ部での渋滞の原因は、上り坂部での無意識の速度低下や車間距離が短くなった後続の車両がブレーキを踏み、減速波が後続車両に伝播することにより発生する。

NEXCO 東日本では、この速度低下を緩和するため、上り坂やサグ部等で道路脇に設置した LED 発光パネルを進行方向に流れるように発光させることによりドライバーが光の走行に無意識に追従し、速度低下を軽減して渋滞発生の遅延及び渋滞中の速度向上を期待する対策を開発・運用した。ここに東北地方と東京湾アクアラインで実施した対策内容と効果について紹介する。

2. 東北地方における取組み

東北地方の高速道路の渋滞は約 8 割が繁忙期（GW（ゴールデンウィーク）、お盆）に集中している。また、通常期に恒常的に渋滞が発生する箇所は三陸自動車道（上り線）利府 JCT（ジャンクション）付近に限定されている。

恒常的に発生する利府 JCT 付近をボトルネックとする渋滞は、利府 JCT からの合流と直後の下り勾配 0.7% から上り勾配 0.6% のサグによる速度低下により渋滞が発生している。当該区間は暫定 2 車線で運用され、平成 24 年の日平均交通量は約 16,000 台 / 日となっている。

また、繁忙期の渋滞のボトルネックは複数あり、そのうち東北自動車道（上り線）福島トンネル付近及び東北自動車道（下り線）安達太良 SA（サービスエリア）付近では毎年大きな渋滞が発生している。福島トンネルの渋滞はトンネル坑口の圧迫感及び明かり部からトンネル内の 3km に渡る 2 ～ 3% の上り勾配により渋滞が発生する。安達太良 SA 付近では、安達太良 SA からの合流及びその後約 2km の 0.3 ～ 1.9% の上り勾配により渋滞が発生する。

利府 JCT 付近、福島トンネル、安達太良 SA 付近の渋滞対策として、自発光式ペースメーカーを設置した。自発光式ペースメーカーとは路肩や中央分離帯に一定間隔に設置された LED 発光パネルのことで、一連の LED 発光パネルが点滅を繰り返し光が進行方向に車の走行速度で流れていくように見えるものである。自発光式ペースメーカーを上り坂等に設置し、流れる光を運転手が追うことで速度低下を抑制し渋滞の緩和を目的としている。東北地方の取組みとして、自発光式ペースメーカーの開発、利府 JCT 付近、福島トンネル及び安達太良 SA 付近での効果検証について報告する。

（自発光式ペースメーカー：本文では、以下「ペースメーカー」という。）

2-1 ペースメーカー

1) LED 発光パネル

LED 発光パネルは、第1に屋外で使用するため防水機能に優れているもの、第2に一連の LED 発光パネルの光の点滅を制御できるもの、第3に経済性を考慮し既存の LED 発光パネルであることを選定条件とした。水泳用としてプール内で使用されているものが条件と合致したため、これを用いることとした。

既存の LED 発光パネルにはタイル型及びドーム型の2種類がある（表1）。消費電力がドーム型の方が低く電源の準備等が容易であるが、指向性が強く一定方向からしか見えず、走行している車両から流れる光を一連で確認するためには適していないため、多方向からの視認性に優れているタイル型を採用することとした。

2) 発光色・発光パターン

発光色の一覧を表2に示す。白、緑、青緑は発光（光度）が強い。視認性では青、青緑色がよく、視認性を考慮し利府 JCT 付近では青緑色を採用することとした。

LED 発光パネルは 10m 間隔で設置し、発光パターンは1灯3滅とした（図1）。点灯パネル同士が1灯1滅のように近すぎたり、1灯7滅のように離れすぎたりすると、光が流れる方向がわからなくなったり、設定した速度で流れるように感じなくなってしまう。利府 JCT 付近では、規制速度の 70km/h で、光が流れることとした。

LED形式	タイル型	
LED個数(個)	30	
動作電圧(V/基)	DC48	
消費電流(A/基)	0.54	
消費電力(W/基)	26	
判定	○	
LED形式	ドーム型	
LED個数(個)	25	
動作電圧(V/基)	DC12	
消費電流(A/基)	0.26	
消費電力(W/基)	3.12	
判定	×	

表1 LED 発光パネルの比較

発光色		白	
光度	(cd/個)	19.1	
	(cd/基)	574	
視認性		×	
判定		×	
発光色		緑	
光度	(cd/個)	19.1	
	(cd/基)	574	
視認性		△	
判定		△	
発光色		青	
光度	(cd/個)	4.4	
	(cd/基)	131	
視認性		○	
判定		○	
発光色		青緑	
光度	(cd/個)	17.8	
	(cd/基)	534	
視認性		◎	
判定		◎	

表2 発光色の比較

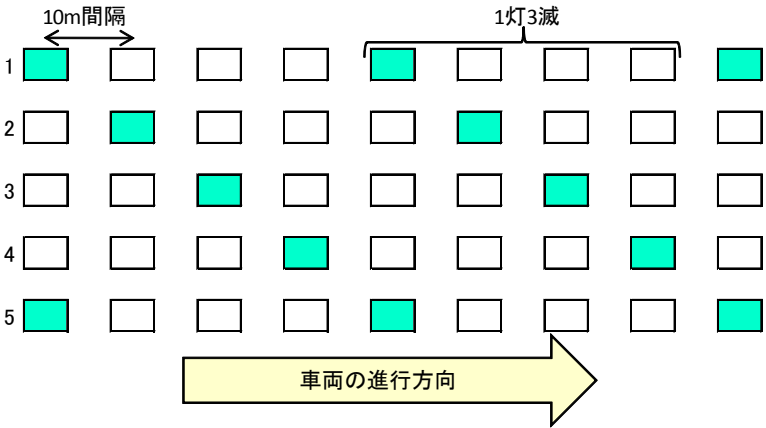


図1 発光パターンの模式図

2-2 利府 JCT 付近での効果検証

1) 設置

平成 23 年 2 月に利府 JCT 付近へペースメーカーを設置した。図 2 に利府 JCT 付近の設置状況を示す。利府 JCT 付近は暫定 2 車線であり、対向車から光が見えないようにするため目隠し板を設置し、ボトルネックとなっている登り坂の頂上付近の路肩側橋梁壁高欄に 200m 設置した。

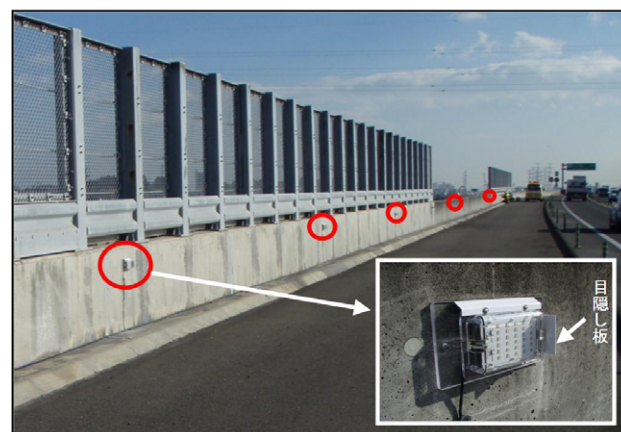


図 2 利府 JCT 付近の設置状況

2) 速度変化

ペースメーカー消灯時及び点灯時の速度変化について図 3 に示す。ボトルネックは消灯時で 3.5kp 付近、点灯時で 3.3kp 付近にあり、渋滞解消となる 40km/h 以上の走行速度に回復するのは消灯時で 2.9kp 付近、点灯時で 3.0kp 付近である。ペースメーカーは渋滞解消位置から 300 ~ 400m 先に設置されているが、ペースメーカー設置区間で速度が回復し、後続でも追従するように速度回復が早まった。ペースメーカーのストロー効果（吸い上げ効果）により、非点灯時と点灯時で渋滞延長は 2,100m から 800m へ、渋滞継続時間は 50 分から 30 分へ短縮した。

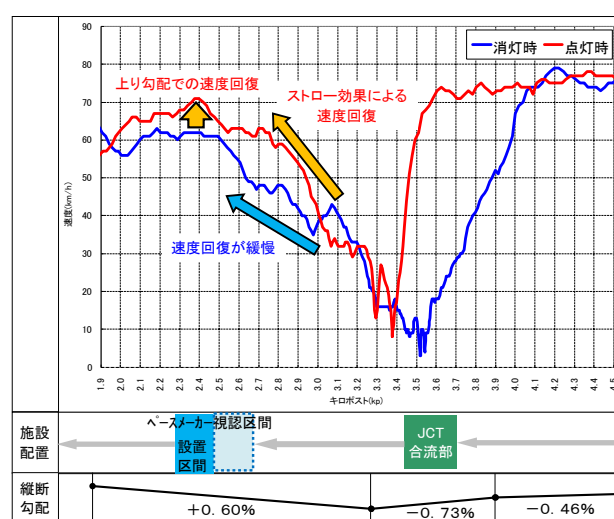


図 3 点灯時・消灯時の速度変化（利府 JCT）

3) 捌け交通量

捌け交通量の時間変化を図 4 に示す。ペースメーカーによる速度回復・ストロー効果により、渋滞直前の最大捌け交通量で 130 台 / 5 分から 150 台 / 5 分に上昇し、渋滞解消直前の捌け台数も 120 台 / 5 分から 130 台 / 5 分へ上昇した。

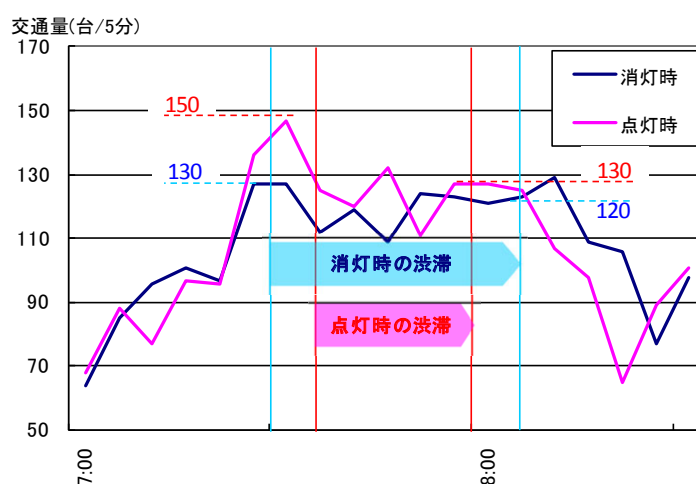


図 4 点灯時・消灯時の捌け交通量変化（利府 JCT）

4) まとめ

利府 JCT 付近に設置したペースメーカーは、走行速度を回復させることで、捌け交通量の増加、渋滞延長・渋滞継続時間を短縮させるため、ペースメーカーの渋滞低減効果が明らかとなった。

2-3 福島トンネル・安達太良 SA 付近での効果検証

1) 繁忙期への適用

効果のあった利府 JCT 付近では朝・夕の通勤時間帯に恒常的に渋滞が発生し、何度も通過するうちに運転手がペースメーカーを記憶し意識的に速度上昇を行っていることも考えられる。前述したように、東北地方の渋滞は8割が繁忙期に集中するため、初めてペースメーカー設置区間を走行した人にも効果があるか検証するために、繁忙期に渋滞が大きく発生する東北自動車道（上り線）福島トンネル及び同(下り線)安達太良 SA 付近で、平成 24 年お盆から平成 25 年 GW にかけて効果検証を行った。

2) 設置（福島トンネル・安達太良 SA 付近）

利府 JCT 付近では視認性から、発光色を青緑色としていたが、トンネル内では光が強すぎることを考慮し青色とした。屋外では青緑色、トンネル内では青色となり、屋外からトンネル内まで一連でペースメーカーを設置する場合、途中で色が切替ることになる。福島トンネル内の設置状況を図 5 に、安達太良 SA 付近の設置状況を図 6 に示す。



図 5 福島トンネル内の設置状況



図 6 安達太良 SA 付近の設置状況

また、利府 JCT 付近ではペースメーカーは橋の壁高欄に設置したが、安達太良 SA 付近は土工部であり、背景が植物によって緑色となってしまう青緑色だと背景と同化してしまう恐れがあるため、黒色の背板を設置することで視認性の向上を図った（図 7）。



図 7 屋外のペースメーカー背面処理

表3 福島トンネル・安達太良 SA 付近の更新状況

箇所	項目	平成 24 年お盆	平成 25 年 GW
福島トンネル	延長	約 200m	約 1,000m
	設置	追越車線	走行車線 追越車線
	発光色	青色	青色
安達太良 SA 付近	延長	約 200m	約 1,000m
	設置	路肩	路肩 中央分離帯
	発光色	青色	青緑色
	視認性	機器単体	機器背面に 黒い背板を設置

表3に示すように設置延長等は平成25年GWまでに随時更新を行った。また、光の流れる速度は、当該区間の大型車の規制速度である80km/hとした。

3) 速度変化（福島トンネル）

福島トンネルの速度変化について平成24年お盆及び平成25年GWの速度コンター図を図8・9に示す。平成24年お盆は追越側に約200m、平成25年GWでは走行・追越の両側に約1,000mペースメーカーを設置した。それぞれを比較すると、平成25年GWの方が遅い速度を示す赤色が少なくなり、速度回復を示す黄色が増加していることが分かる。

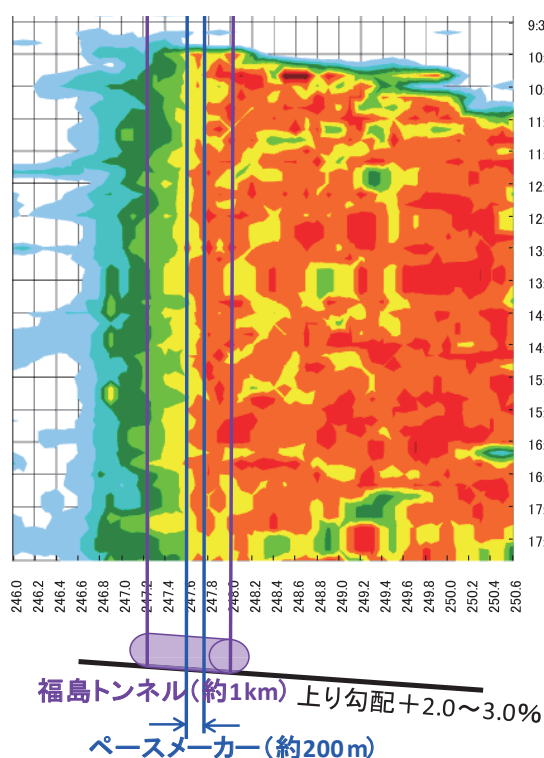


図8 速度コンター図（平成24年お盆）

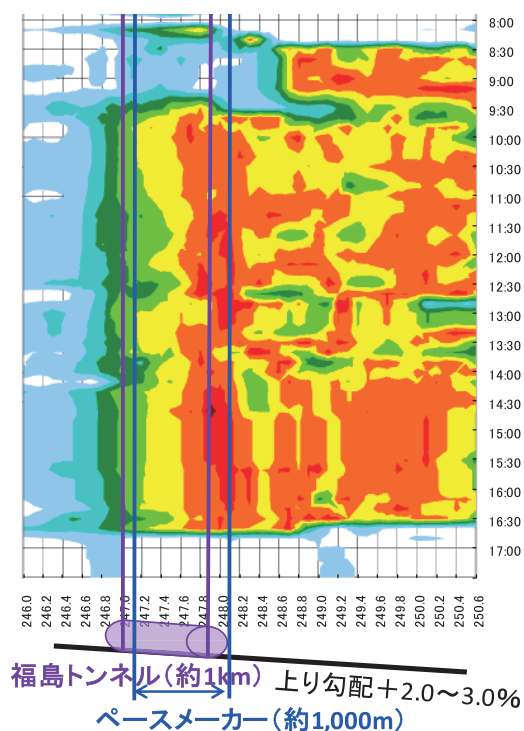


図9 速度コンター図（平成25年GW）

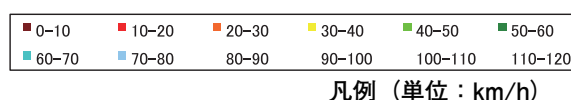


表4・5にそれぞれの速度領域の面積比及び平均旅行速度・時間の比較を示す。面積比で確認しても、10～30km/hの速度領域は6～11%減少し、30～40km/hの速度領域が約10%増加し、数値でも速度が回復していることを確認できた。

表 4 速度コンター図の面積比

	H24 お盆	H25GW	差
10km/h 未満	0%	0%	0%
10 ～ 20km/h	22%	11%	- 11%
20 ～ 30km/h	41%	35%	- 6%
30 ～ 40km/h	21%	30%	9%
40 ～ 50km/h	8%	18%	10%
50km/h 以上	7%	6%	- 1%
合計	100%	100%	-

表 5 平均旅行時間・平均旅行速度の比較

	平均旅行速度
H24 お盆	23.6km/h
H25GW	27.0km/h
結果	3.4km/h 上昇

4) 捌け交通量（福島トンネル）

捌け交通量の比較は渋滞時及び渋滞安定時の 2 つの条件で比較を行った（表 6）。

表 6：渋滞時・渋滞安定時の定義

	定義
渋滞時	渋滞開始・終了前後の 1 時間の範囲
渋滞安定時	渋滞開始・終了前後の約 1 時間を除いた範囲

渋滞時における平成 24 年お盆（追越側 200m 設置）のペースメーカーの消灯時・点灯時の捌け交通量の比較を図 10 に示す。ペースメーカーを点灯することで、捌け交通量が 183 台 /5 分から 200 台 /5 分へと増加した。しかし、図 11 に示す、渋滞安定時における捌け交通量の比較では 200m の設置では、未設置と捌け交通量はほぼ変わらず、約 1km 設置した平成 25 年 GW は捌け交通量が増加している。

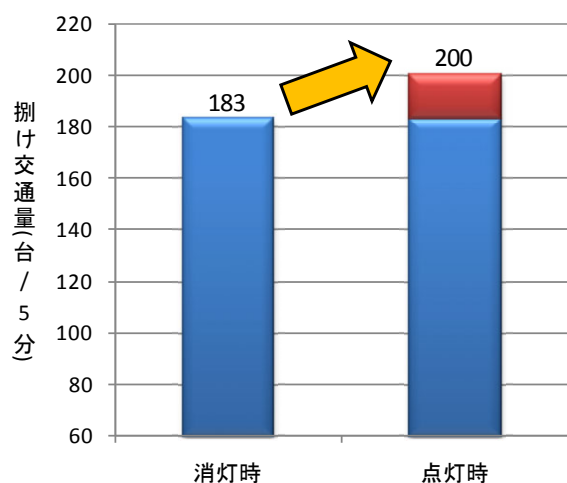


図 10 平成 24 年お盆の捌け交通量比較（条件：渋滞時）

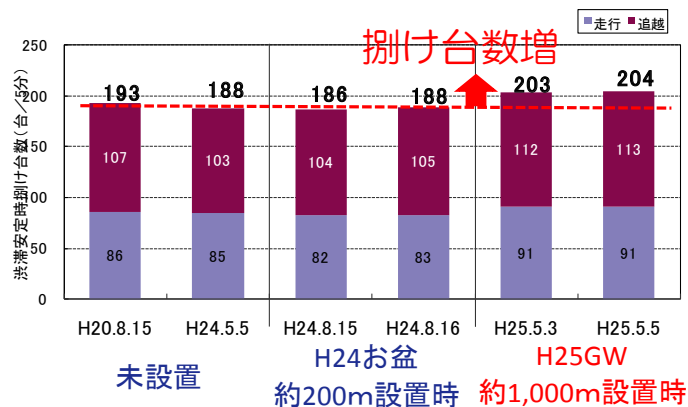


図 11 捌け交通量比較（条件：渋滞安定時）

200m 設置した場合は、速度変化の著しい渋滞開始直後及び解消直前には捌け交通量に影響を与えるが、渋滞が安定してしまうと効果は低くなってしまふ。しかし、渋滞が安定した状態でも約 1km 程度ペースメーカーを設置することで、効果を示すということが明らかとなった。利府 JCT では 200m で十分な効果があったが、福島トンネルで十分な効果を発揮するためには約 1km 必要であるという相反する結果となったが、現地の縦断勾配や発生する渋滞の規模（時間や延長）によって必要なペースメーカーの延長が変わってくると考えられる。つまり、現場の道路状況に応じた延長でペースメーカーを設置する必要があると言える。

5) 捌け交通量（安達太良 SA 付近）

安達太良SA付近における捌け交通量の変化を図12に示す。福島トンネルと同様に、ペースメーカーを設置することで捌け交通量が増加する結果となった。しかし、付近で発生した事故の影響により詳細な検討に至っていない。

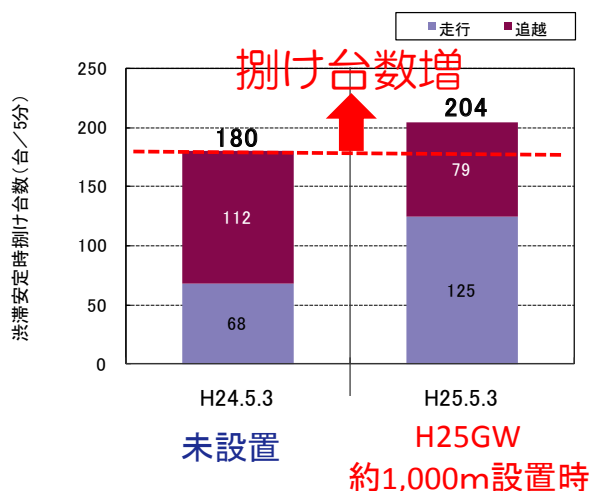


図 12 捌け交通量比較（条件：渋滞安定時）

6) まとめ及び課題

福島トンネルでは捌け交通量の増加、速度回復（旅行速度の上昇）、旅行時間の短縮が確認され、ペースメーカーを初めて見た運転手に対しても効果があることが確認された。また、安達太良 SA 付近では事故渋滞により詳細な効果検証を行えなかったが、捌け交通量の増加が確認され、福島トンネルと同様の効果があると考えられる。

しかし、背景色との同化を避けるためにペースメーカーの背面に黒色の板を設置したが、西日などの強烈な光のもとでは視認性が劣っていたため、西日対策については更なる検討が必要となる。

3. 東京湾アクアラインの取組み

アクアトンネル（上り線__浮島出口側）の渋滞対策として、2013 年の GW（ゴールデンウィーク）より試行運用した「ペースメーカーライト」の対策概要、LED 表示方法検討、渋滞対策効果について報告する。

（ペースメーカーライト：本文では、以下「ペースメーカー」という。）

3-1 対策概要

1) 設置箇所

ペースメーカー設置始点は、自由流走行時に速度低下がみられる 1.60kp、設置終点は、4.0%上り坂途中で速度回復傾向にあることや 0.58kp より規制速度が 80km/h より 60km/h となること等を勘案し 0.60kp とした。設置区間延長はサグ部を包括し約 1km とした。ペースメーカー設置位置を図 13 に示す。

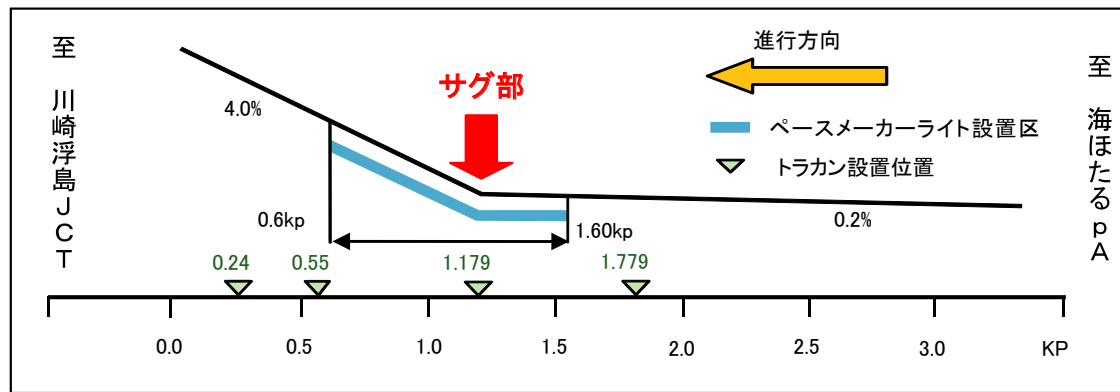


図 13 ペースメーカー設置概要

2) ペースメーカー設置仕様

アクアトンネルにおける設置仕様は、福島トンネル（NEXCO 東日本 東北支社）の設置事例等を参考に次のとおりとした。

(1) 設置高さ

路肩側・追越車線側ともに同一高さとし、LED 発光体パネル下端まで路面から 1.0m とした。

(2) 配置間隔及び LED 発光パターン

発光体間隔は 10m ピッチとし、発光パターンは 1 ブロック 1 灯 3 減とした。ペースメーカーの光は 40m 間隔を保ち、進行方向に移動していく。発光色については、福島トンネルと同じ「青色」とし、輝度及び点灯速度は遠隔制御可能である。ペースメーカーの点灯状況を図 14 に示す。



図 14 ペースメーカー点灯状況

3-2 ペースメーカー運用方法

ペースメーカーの点灯判断は 1.779kp のサグ部上流側のトラフィックカウンターの速度で行い、以下の 2 段階設定の運用とした。

- ① 土日等交通量の増える午後から「高速域点灯」※1 を開始し「走光性」※2 により速度低下を抑制させる
- ② 渋滞発生時より概ね 15 分継続を確認し、「低速域点灯」※3 へ変更し渋滞時速度を向上させる
事故等の特異事象が発生した場合は、現場（東京湾アクアライン管理事務所）での判断により消灯

した。

※1 高速域点灯：光の流れる速度を 80 km/h で点灯

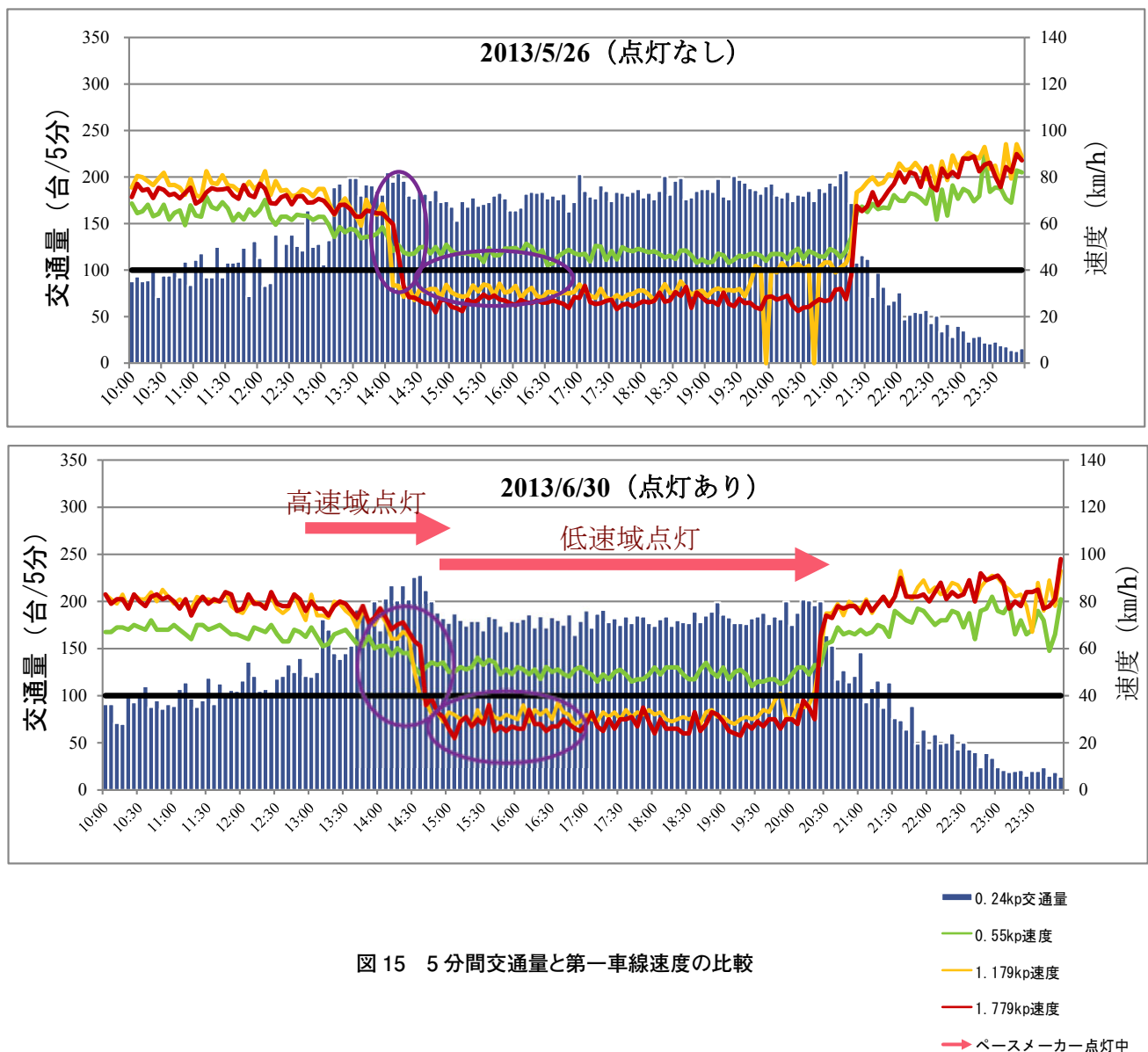
※2 走光性：光刺激が移動することにより、光と同じ動きをしようとする性質。近年、人にも走光性があることが提唱されている。

※3 低速域点灯：光の流れる速度を 50 km/h で点灯

3-3 効果検証結果

1) ペースメーカーの点灯による速度変動

5 分間交通量が 200 台を超えると渋滞が発生する傾向にある。「高速域点灯」では点灯ありの場合、点灯なしと比較して渋滞に至るまでの速度低下抑制に効果があることが確認できる（10 分程度の遅延）。また、「低速域点灯」への変更によって渋滞時の速度がやや上昇していることが確認できる（図 15）。



2) 最適速度の設定

6 月、7 月において週ごとにペースメーカー設定速度を 10km/h 刻みで変更し検証を行った。効果

指標として、渋滞発生前の指標として15分フローレートによる最大通過交通量、渋滞発生後は平均速度を用いた。その結果、渋滞発生前 80km/h、渋滞発生後 50km/h の設定が最適であるとの結論が得られた（図 16）。

なお、設定速度については事前に交通管理者と協議を行っている。

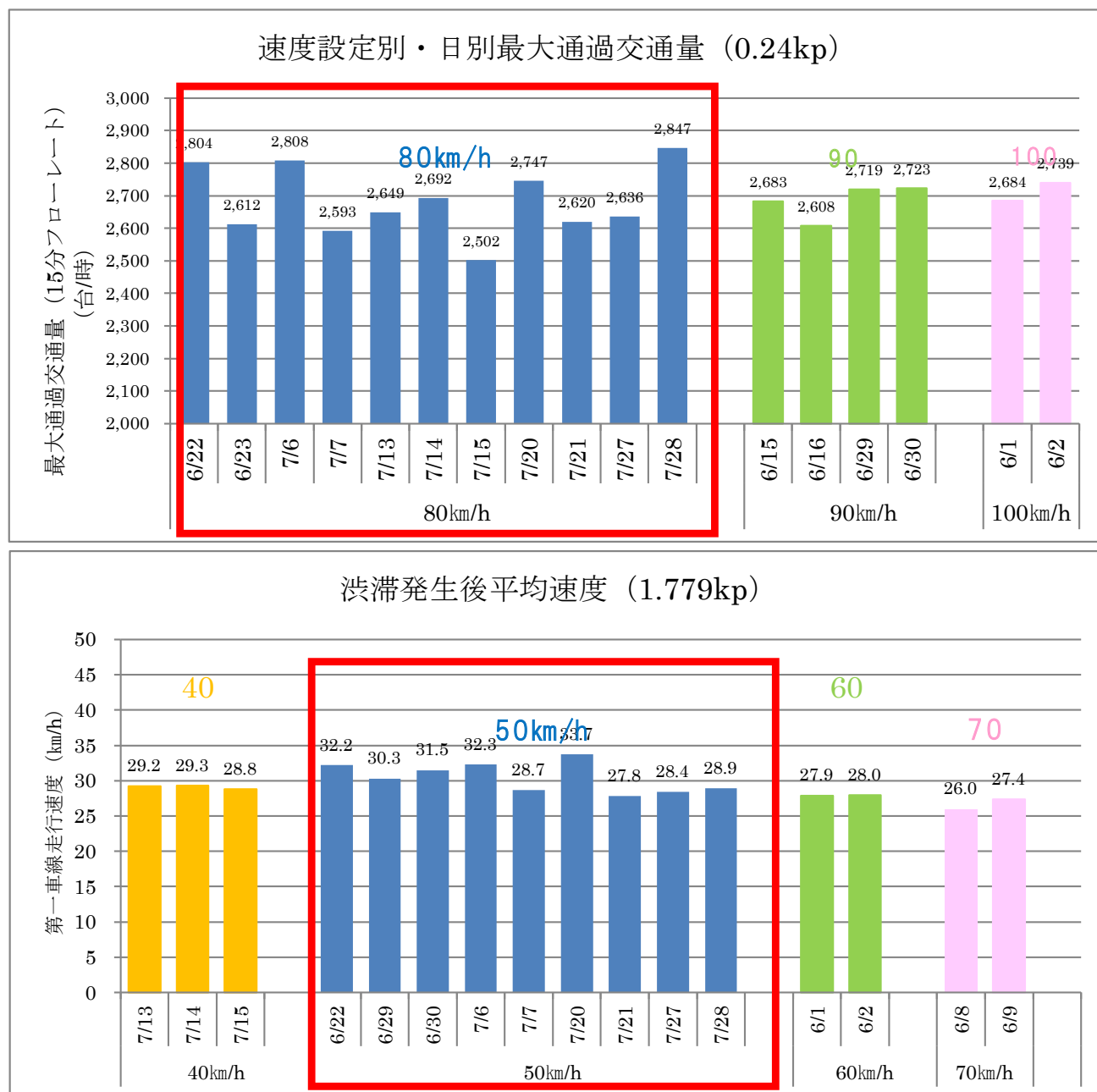
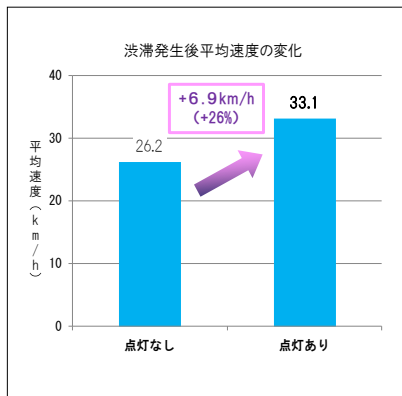


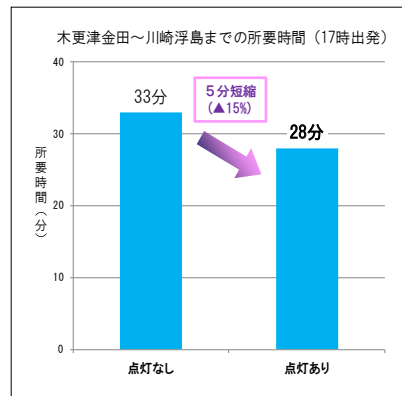
図 16 設定速度別最大通過交通量および渋滞中の平均速度

3) 平成 25 年 8 月における運用結果

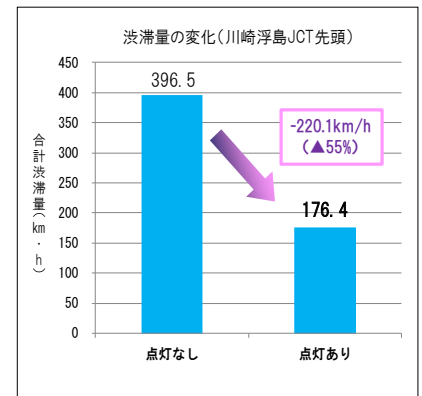
平成 25 年 8 月におけるペースメーカーの運用結果を図 17 に示す。渋滞発生後の平均速度は +6.9km/h 上昇した。また、17 時に木更津金田 IC（インターチェンジ）を出発した場合の川崎浮島 JCT（ジャンクション）までの所要時間が平均で 5 分短縮した。さらに、川崎浮島 JCT を先頭とする渋滞量は半数以下に減少した。



対策なし：H25.5.25～26
対策あり：H25.8月の土日＋お盆期間(8/12～16)



対策なし：H24 8月の土日＋お盆期間(8/13～17)
対策あり：H25 8月の土日＋お盆期間(8/12～16)



対策なし：H24 8月の土日＋お盆期間(8/13～17)
対策あり：H25 8月の土日＋お盆期間(8/12～16)

図 17 H25.8 運用結果（平均速度・所要時間・渋滞量）

3-4 まとめと今後の課題

ペースメーカーが渋滞緩和に対し有効であることが確認でき、交通量が多い休日の夕方においても川崎浮島 JCT 付近を先頭とする渋滞が発生しないケースも見られた。今後は道路管理用カメラ画像により、非渋滞流から渋滞流に至るまでの車両挙動とペースメーカー効果について詳細分析を実施し、渋滞発生メカニズムを解明したい。

現在、東京湾アクアライン管理事務所では、ペースメーカーやアクアラインにおけるその他の渋滞箇所や原因の情報提供、利用時間変更の促進を目的としたインフォメーション動画を制作し、広報活動として海ほたる PA（パーキングエリア）での放映、NEXCO 東日本のホームページ上での公開を行っている。

4. おわりに

ペースメーカーは渋滞緩和対策に効果があることが明らかとなった。抜本的な渋滞対策には車線の増設が挙げられるが、車線の増設には経済的な面、工事完了までの時間、その他様々な諸条件など解決すべき課題が多い。

ペースメーカーは、既存の LED 発光パネルを用い簡易的に設置できるため、車線の増設が難しい箇所や緊急を要する箇所での渋滞緩和対策に非常に効果的である。また、渋滞緩和対策に効果があるということは、言い換えればペースメーカーは車両速度に影響を与えることができるということであり、様々な箇所や場面への適用が考えられる。高速道路の安全、安心、快適、便利を目指し、今後もペースメーカーの機能向上を図りたい。