新幹線における暫定整備計画の課題と改善方策
—単線方式による新幹線システムの可能性—

波床 正敏（大阪産業大学 工学部，hatoko@ce.osaka-sandai.ac.jp）

A study on issues and resolution for interim construction scheme of Shinkansen: Potential of single track Shinkansen system

Masatoshi Hatoko (Faculty of Engineering, Osaka Sangyo University)

要約

近年、全国新幹線鉄道整備法に基づく整備計画線の全線開業が現実になろうとしてきているが、今後の基本計画線の新規着工には費用対効果の観点から厳しい目が向けられる可能性がある。費用を抑えた新幹線整備の方法としては、ミニ新幹線やスーパー特急方式といった暫定整備計画が提案されているが、ミニ新幹線は路線自体が在来線そのものであるため高速運転できず、また、運転中止や遅れ等が生じやすく、信頼性の低いシステムになっている。スーパー特急方式についても、通常の新幹線とは乗換を要し、建設費がフル規格とあまり変わらないにもかかわらず、青函トンネルのように実態としては低速運転せざるを得ないなど利便性が低い。また、新線部分以外は在来線そのものであるため、やはり運行の信頼性が低いシステムである。そこで、本研究ではコストを抑えながらも高速運転でき、既設新幹線とも直通できる方式として単線の新幹線システムを取り上げ、技術的側面や運行計画を考慮してシステム構成を検討し、ケーススタディを通じて基本的性能を確認した。その結果、全線複線である場合に比べて軌道の総延長を約 40 % 低減させながらも、片道 2 本 / 時の運転本数と約 150 km/h の表定速度を確保しうる新幹線システムの可能性を示すことができた。

キーワード

新幹線，暫定整備計画，単線，パターンダイヤ，ATC

1. はじめに

近年、徐々に整備新幹線の新規区間が開業を迎えている。まだ未着工区間はあるものの、整備計画線の全区間開業が見えつつあり、基本計画線を次なる整備計画へと格上げを期待する声が高まりつつあり、一部を除くほとんどの基本計画線沿線で整備を望む期成同盟などが結成される状況になっている。現在、新幹線の整備費用は年間 2 ～ 3 千億円程度で推移しているが、大幅に増額される状況ではなく、新規着工には厳しい目が向けられているのが実状である。このような社会状況下で整備を進めるためには、整備効果をより大きくするか、もしくは整備費用をより小さくするかのどちらかが必要である。

整備効果を大きくする方法としては沿線開発を進めたり、新幹線を高速運転して時間短縮効果を大きくしたり、あるいは他路線や他交通機関からの移転を期待したりといったことが考えられる。だが、近年整備を求めるようになった地域は低密度地域が多く、積極的な攻めの姿勢での投資は行われにくい状況にある。

一方、費用を抑える方法としては、これまでにも新幹線鉄道直通線（以下、ミニ新幹線）や新幹線鉄道規格新線（以下、スーパー特急方式）といった暫定整備計画の手法が提案され、実際にこれら方式を前提として着工された区間も多い。だが、既存の手法は費用を抑えることばかりが意識され、整備された路線が高速鉄道としての十分な機能を発揮できるものではなかったため、最終的にはフル規格新線に計画変更されて整備されることがほとんどであった。

地方部で求められている新規新幹線整備を考えるとき、高価で高機能な整備方法では経済合理性を損なってしまい、かといってミニ新幹線のような安価な手法では高速鉄道としての機能を果たさないというジレンマが存在しているとの問題認識の下、本研究では整備費用を抑えながらも新幹線としての水準を満たすにはどのような方式で整備すべきかについて新たな方法を検討することを目的とする。具体的には、単線方式の新幹線システムについて技術的側面や運行計画を考慮して基本的なシステム構成を検討し、ケーススタディを通じて新システムの基本的な性能を確認するものとする。運転本数の少ない在来線では整備費用を低減させる方法として、単線で鉄道整備が行われることはごく当たり前に行われてきている。しかし、単線鉄道は遅くて時間のロスが多いなどの印象があり、高速鉄道整備の方法としては注目されてこなかった。本研究では、一定の条件の下では単線の新幹線システムが成立するのではないかと考え、主として技術的背景の面から高速旅客輸送システムとしての単線新幹線の成立可能性について分析することとした。なお、社会的な成立可能性については整備費用が重要な要素である。複線のフル規格に比べて整備すべきインフラの量の少ない単線新幹線が低廉になることは明らかではあるものの、費用の議論以前に高速鉄道システムとして成立することが必須であるため、本研究では費用積算は研究対象としていない。

2. 幹線鉄道整備に関する議論と本研究の視点

2.1 幹線交通整備に関する既存の研究

幹線鉄道計画に関し、既存の整備実績としての表定速

度や建設費用を用いて有無比較を行うなどしてプロジェクト評価を行った研究は比較的多数存在する。だが、どのような整備を行えばより効果的な整備となるかについて研究したものは少なく、幹線鉄道網における乗り継ぎロスの減少を主眼としたスイスの幹線鉄道政策を紹介した波床・中川（2006）を参考に、フル規格や暫定整備手法、あるいは在来線改良等の整備手法を組み合わせて費用対効果の観点で最適化を図った波床・中川（2011; 2015）などがある。だが、幹線鉄道整備を対象とする研究自体が少なく、効果的な政策提案には至っていない。

一方、幹線自動車道整備では、本来は 4 車線として計画された道路を暫定的に 2 車線で先行整備する手法が近年進んでいる。田中・山田ら（2004）によると、暫定 2 車線による自動車道整備における利点として、高規格幹線道路としての機能を満たしながらも初期投資を抑え、整備効果を早期発現させることができることを指摘している。また、金子・福田ら（2008）は暫定 2 車線開業を例に社会基盤整備計画の柔軟性の価値について評価を試みており、暫定 2 車線開業は一定の利点を有していることを述べている。

2.2 近年の新幹線整備のニーズ

新幹線の特徴は高速運転と大量輸送である。例えば東海道新幹線では片道最大 15 本／時の列車を運転可能である。しかし、近年開業した整備新幹線では、表 1 のように最大でも毎時数本程度であり、必ずしも能力を使い切っているとは言えない。表 2 は基本計画線に並行する在来線特急の運転本数を示したものであるが、片道 3 本 / 時が最大であり、それ以外はピーク時でも 1 ～ 2 本 / 時程度である。

このように、今後整備する新幹線については、運転本数が非常に少ないことを前提にシステム設計をする必要が生じてきているのではないかと考えられる。

2.3 本研究の視点

本研究では単線方式の新幹線システムの可能性について検討するものである。約 77 億円／ km の整備費用のうち新幹線のコスト構造としては図 1（国土交通大臣から新潟県知事への工事実施計画意見照会文 - 国鉄第 25 号、平成 21 年 8 月 4 日の別紙「北陸新幹線長野・金沢間工事予算書」をもとに作成）のようになっており、星印を付けたものは軌道の総延長が短いと費用が低減する可能性がある項目である。これより、軌道延長を短縮できる単線方式は検討の余地があると考えられる。

一方、単線鉄道は停車時間等のロス時間等が大きく、システムとしての性能が低い印象がある。しかし、一定の条件（運行間隔・駅間所要時間・停車駅が一定）を設定するともに、新幹線という閉じたシステムならば、地方部におけるニーズを十分満たしながら費用の小さい整備方式を提案できる可能性があると思われる。本研究では、既存の単線システムに対する印象に囚われずに研究を行う。

地方部における高速交通整備という点では、自動車専用道路整備において、暫定 2 車線整備という方式が一般化しており、移動ニーズを満たしながら高速道路ネットワークの拡大に寄与している。だが、新幹線ではそれに類する方式の提案はなされておらず、本研究で対象とする単線方式は、スーパー特急、ミニ新幹線に続く第三の暫定整備方式として、新幹線網拡大の一助となるのではないだろうか。

3. 既存の暫定整備手法の課題と求められる要件

3.1 既存整備手法の課題

新幹線の整備方法としては、表 3 のようにフル規格新線の建設のほかに、暫定整備計画としてミニ新幹線やスーパー特急方式がある。これらは北陸新幹線や東北新幹線（盛岡以北）の整備方法として一時期提案された。だが、ミニ新幹線は標準軌の新幹線電車が直通運転できるもの

表 1：近年開通した新幹線の運転本数（‘16 年夏～秋）

路線	区間		閑散期午後 13 ～ 16 時台平均（本／時）	繁忙期最大（本／時）	備考
北海道	新青森	新函館北斗	0.8	2	
東北	盛岡	新青森	1.0	3	
北陸	長野	富山	1.0	3	
	富山	金沢	2.3	5	
九州	博多	熊本	3.0	5	
	熊本	鹿児島中央	2.0	4	
山形	福島	山形	1.0	2	
	山形	新庄	0.5	2	
秋田	盛岡	秋田	1.0	2	
東海道	品川	新横浜	9.5	15	（参考）
東北	上野	大宮	8.0	14	（参考）

注：閑散期は 2016/9/28、繁忙期は 2016/8/11

表 2：基本計画線の並行在来線特急の本数（‘16 年夏～秋）

路線	区間		閑散期午後 13 ～ 16 時台平均（本／時）	繁忙期最大（本／時）	備考
北海道	札幌	旭川	1.8	3	
羽越	直江津	長岡	0.3	1	
〃	新潟	秋田	0.3	1	
〃	秋田	青森	0.0	1	
奥羽	福島	秋田	-	-	表 1 参照
山陰	京都	城崎温泉	1.0	1	
〃	大阪	鳥取	0.5	1	
〃	鳥取	米子	0.5	1	
〃	米子	出雲市	1.5	2	
〃	出雲市	益田	0.5	1	
〃	益田	新山口	0.3	1	
中国横断	岡山	米子	1.0	1	
四国	徳島	高松	1.0	1	
〃	多度津	松山	1.0	1	
四国横断	岡山	多度津	2.0	2	
〃	多度津	高知	1.0	1	
東九州	小倉	大分	2.0	3	
〃	大分	宮崎	1.0	1	
〃	宮崎	鹿児島中央	0.5	1	
九州横断	大分	熊本	0.3	1	熊本地震以前

注：閑散期は 2016/9/28、繁忙期は 2016/8/11

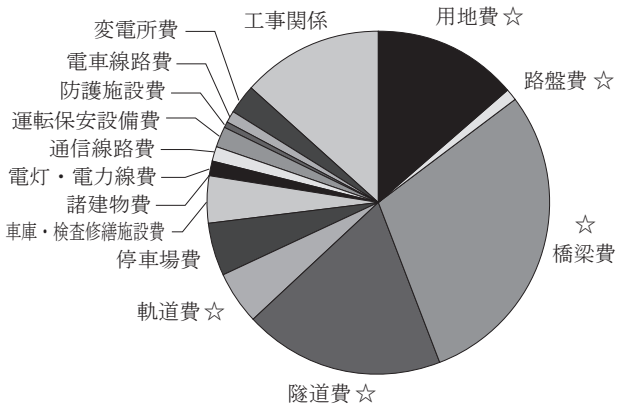

図 1：フル規格新幹線 (長野－金沢間) のコスト構造

の、路線の線形自体が在来線そのものであるため高速運転できず、新幹線とはほど遠いサービスレベルであった。運行ダイヤの正確さという点でも、通勤通学用のローカル列車と線路を共有したり、一般道路との平面踏切が存在したり、あるいは、異常気象等への対応レベルが在来線そのものであるため、運転の中止や遅れ等が生じやすく、信頼性の低いシステムになっている。

一方、スーパー特急方式については、本来は 200 km/h 程度の高速運転できる狭軌特急を運行させるものであり、実態として青函トンネルおよび前後の区間がこれに相当する。だが実際には新幹線と遜色の無い在来線特急が運転されることは無かった。また、新幹線とは乗換を要し、建設費がフル規格とあまり変わらないにもかかわらず、利便性が低かった。システム的には在来線そのものであるため、ローカル列車や貨物列車の走行の影響を受けるなど、やはり運行の信頼性が低いシステムである。

これら手法のほか、車両側に軌間変更機能を持たせた FGT（=Free Gauge Train）の開発が進行しているが実現には至っていない。フル規格新幹線上での運転速度の低さが指摘されることもあるが、基本的には改軌を要しないミニ新幹線であり、基本的な特徴もミニ新幹線に準ずる。

そこで、フル規格新線整備や暫定整備計画の特徴（表 3）を考慮しつつ、理想的な暫定整備手法を考えてみると同表右端のようなものとなると思われる。すなわち、コストを抑えながらも高速運転は実施され、既設新幹線とも直通できるものであり、それ以外については一定の割り切りを前提とするものであろうと思われる。

3.2 新幹線システムの特徴と単線システムの可能性

新幹線システムは、他の在来線鉄道と切り離されているために遅れの生じやすい普通列車や貨物列車の影響を受けにくく、踏切道などの平面交差も無く、さらに、近年整備される路線では降雪等への対応を考慮した設計が

表 3：暫定整備計画の課題と理想

名称	フル規格	ミニ新幹線	スーパー特急方式	理想
事例	整備新幹線	山形新幹線 秋田新幹線	青函トンネル区間	―
構造物	複線の高規格新線	在来線転用	複線の高規格新線	高規格新線
軌道	標準軌	軌間のみ標準軌化	狭軌（将来的に標準軌化）	標準軌
速度	260 km/h 以上	130 km/h 程度	140 km/h 程度	260 km/h 以上
本数	毎時片道 15 本以上	毎時片道 2 本程度	在来線複線区間程度	毎時片道 2 本程度
費用	km あたり 50 ～ 100 億円	km あたり数億円	km あたり 50 ～ 100 億円	安価
信頼性	ほとんど遅れない	普通列車 踏切、鳥獣 降雨、降雪	普通列車 貨物列車	ほとんど遅れない
車両	大型車体 320 km/h 対応	小型車体 320 km/h 対応	小型車体 160 km/h 程度	高速対応なら大小不問
直通	新幹線直通	新幹線直通	在来線直通 （乗換必要）	新幹線直通
駅	新規	既存駅活用	新規／既存	どちらでも
備考	建設費大	工期短い	工費の割に列車が遅い	―

されており、列車の遅延が生じにくい。在来線の特急列車は普通列車や貨物列車と線路を共用しているために、運転間隔や所要時間が一定しないことが多い。しかし、新幹線は特急列車専用線上を運転しているために、基本的には時間帯によらず運転間隔や所要時間が安定しており、パターンダイヤ化されている。さらに、近年開業する整備新幹線では運転本数が少ないため、速達型と各停型というような種別分けが明確でなく、全便が各停型に近い運行である。

このような特徴を考慮すると、在来線とは隔絶したクローズドなシステムとして遅れにくくするとともに、全便を各停型で運行し、時間帯によらずにパターンダイヤ化すれば、上下方向列車の交換箇所は一定箇所に限定することが可能である。そうすれば、その箇所のみ複線化するか駅を設置しさえすれば他区間は双方向の列車の運転において線路を共用する単線とすることが可能である。

新幹線では ATC（Automatic Train Control）により衝突や速度超過などの危険から列車を守っている。日本の新幹線では本線上では走行方向が一定方向に固定されているが、駅構内では ATC の保護の下で現時点でも双方向に運転されている。また、日本の新幹線システムが採用されている台湾高速鉄道では、双方向運転用の ATC が開発されて輸出されており、実際に使用されている（藤原・池本他，2008）。欧州の TGV や ICE についても、線路が 2 本並行して敷設されている区間であっても双単線システムが一般的であり、1 本の線路を双方向に使用することは珍しくない。実際にこれら高速列車に乗車すると右側通行なのか、左側通行なのか判然としないことも多い。

このように、新幹線の単線運転については、技術的には大幅な困難はないものと考えられる。

3.3 高速鉄道や単線鉄道の安全性について

前節の説明のように、新幹線は ATC により保護され、双単線運転対応の ATC も開発されている。しかし特に日本国内では単線の高速鉄道システム自体の前例が無いため、現時点では議論は起こっていないものの、今後、単線運転に起因する事故の懸念が提起される可能性がある。そこで、事例として海外における高速鉄道の重大事故（全 4 件）を挙げ、高速鉄道における安全確保の注意点について分析する。

- ドイツの高速列車 ICE の脱線事故
  1998 年 6 月にドイツ北部のエシェデにおいて、ICE が脱線し、跨線橋の橋脚に激突することで 101 名が死亡する事故が発生した。原因は路面電車等で使用実績のあった弾性車輪を高速列車に採用したことであり、金属疲労を生じて破壊に至った（平川，2006）。
- 中国の高速鉄道追突事故
  2011 年 7 月に中国浙江省温州市において、停車中の高速列車に別の高速列車が追突し、高架橋上から計 6 両が転落することで 40 名が死亡するとともに 192 名が負傷した。新幹線の ATC 相当の保安装置（CTCS Level 2）が整備されている路線であったが、事故当時は落雷で保安装置が故障しており、目視運転が行われていたようである（王鋭・中村他，2011）。しかし、原因の詳細究明が行われていないため、真相は不明である。
- スペインの高速列車 Alvia の脱線事故
  2013 年 7 月にスペインのサンティ アゴ・デ・コンポステーラにおいて、制限速度 80 km/h の曲線を 190 km/h で走行し、79 名が死亡、170 名が負傷する脱線事故が発生した。路線は高速鉄道路線と在来線の複合路線であり、事故区間には適切な保安装置が整備されていなかったことが原因のようである（野口，2013）。
- フランスの高速列車 TGV の脱線事故
  2015 年 11 月にフランス北東部のストラスブール近郊において、営業開始前の LGV ヨーロッパ東線を試験走

行中の TGV が脱線転覆して 11 名が死亡し、42 名が負傷した。原因は本項執筆時点ではまだ明確ではないが、高速線から在来線への接続部分における急曲線への進入時にブレーキをかけるのが遅れたことと見られている（AFP, 2015）。なお、当該列車は LGV の試験列車であり、本来の速度よりも +10 % 高速である約 350 km/h で運転されていた（France Télévisions, 2015）。

これら事故のうち、ドイツ ICE の事故は不適切な技術の使用に起因するものだが、これ以外は ATC に相当する保安装置の保護の無い状態での事故である。すなわち、保安装置は高速鉄道の安全を担保する重要点であると言える。

4. 単線新幹線システムの基本設計

4.1 サービス水準や技術的条件の設定

本節では、単線新幹線システムの基本条件を設定する。基本条件の設定では、可能な限り実際に使用されている数値あるいは安全側の結果が出るような数値を条件として設定する方針とする。

- 運行頻度と運転速度
  運行頻度（運転間隔）は双方向とも毎時 2 本とし、運転間隔は 30 分の等間隔とする。新幹線として高速運転を行うため、駅間は標準的な整備新幹線の最高速度である 260 km/h で運転可能な高速新線とする。
- 停車駅
  各駅停車型を原則とし、全列車の表定速度を同一とする。
- 列車の交換
  双方向の列車の交換箇所は駅、もしくは高速走行しながらすれ違い可能な信号場とする。信号場と駅が近接する場合は、駅構内を延長する形で信号場と一体化させる。なお、通常の駅構内の分岐器の速度制限は進路によらず 75 km/h（吉武，2006）とし、信号場構内の分岐器については分岐側を 160 km/h（高崎駅北方で上越新幹線と北陸新幹線の分岐に実際に使用、直線側は制限無し）とする。
- 遅延の許容
  1 分までの遅延を許容し、この範囲内ならば対向列車に遅延を伝播させないようにする。なお、在来線と線路共用することのない東海道新幹線の 1 列車あたりの平均遅延時分は、直近の 2015 年度で 0.2 分である（JR 東海，2016）。
- 使用車両
  単線新幹線システムの路線からフル規格路線へと直通し、フル規格路線では高速走行を要求される可能性がある。また、単線新幹線システムの路線からミニ新幹線に乗り入れる可能性もあるため、車両はフル規格新線部分では 320 km/h 運転対応であり、ミニ新幹線乗り入れ可能な E6 系電車（秋田新幹線用）の諸元（田島，2010）を使用して検討する。なお、北陸新幹線用の E7 系電車では急勾配対策がされており電動機出力が大きめであるなど加減速の検討の際に有利であるが、本研究で使用を想定する E6 系電車はそのような対策は行われていない。
- 加速と減速
  加速時については新幹線用 10N（フル加速）の速度 - 引張力特性を使用し、トンネル区間が多い可能性があるため、常にトンネル抵抗を考慮する。平坦ではない可能性を考慮し、加速時は常に上り 10 ‰勾配（加速しにくい状態）であることを想定することで安全側の結果を導いた。なお、整備新幹線では地形上困難な場合は 35 ‰までの勾配が許容されているが、これは車両側での対策を前提とした値であり、そうでない場合の実施基準は電車の故障時等を考慮して最急勾配が 15 ‰、延長 10 km 間の平均勾配は 12 ‰以下と規定されている（高速鉄道研究会，2003）。上記の 10 ‰はこれを参考に設定している。また、このような基準ができる前に建設された東海道新幹線の勾配は原則 10 ‰以下である。
  旧式のアナログ ATC の使用下では減速はフルブレーキ（E6 系電車の場合、フルブレーキは B7N である）使用が原則であるが、本研究では近年導入されつつある一段制御 ATC（デジタル ATC）の使用を想定し（吉武，2006）、駅への停車時は駅構内に差し掛かるまでに 75 km/h まで減速するパターン制御を行う。信号場については、信号場構内に差し掛かるまでに 160 km/h まで減速するパターン制御を行い、進行できない場合（対向列車等が存在など）は信号場終端手前までに停止のパターン制御を行う。減速時についても常に下り 10 ‰勾配（減速しにくい状態）であることを想定することで安全側の結果を導いた。詳細については次節で説明する。閉塞長は原則として 1.2 km とする（岡山，1985）（海老原，1996）。
- 駅間走行
  加減速以外の駅間走行は最高速度の 260 km/h 運転とし、所要時間計算では余裕を見て 250 km/h で計算する。駅間が短い場合は ATC の速度段が 1 段階下の 230 km/h 運転とし、所要時間は 220 km/h で計算する。

4.3 加速曲線とブレーキ曲線

前節の条件の下で加速時の運転曲線を求めると、主要速度までの経過時間と走行距離は表 4 や図 2 のようになる。

また、駅停車時におけるブレーキパターンについては、参考文献（吉武，2006）には 275 km/h からの制動について、東北新幹線の一段制御 ATC 方式のパターンが示されているが、これを参考に、275 km/h からの制動を行った場合は 7 閉塞目の終端 300 m 手前（分岐器の 100 m 手前）までに終速に達するものとした（つまり 275 km/h から 75 km/h までの制動距離が 8,100 m）。具体的には前節の条件を考慮した上で、図 3 のように B6N（フルブレーキよりも 1 段階緩いブレーキ）使用時のパターンを 94.7 %、B5N（フルブレーキよりも 2 段階緩いブレーキ）使用時のパター

表 4：加速時の主要速度までの経過時間と走行距離

速度（km/h）	経過時間（sec）	走行距離（m）	速度（km/h）	経過時間（sec）	走行距離（m）
0	0	0	170	128	3,189
75	53	566	230	225	8,707
120	86	1,470	260	337	16,400
160	118	2,729	―	―	―

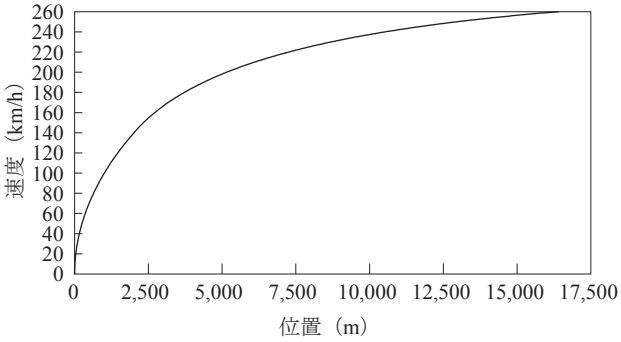

図 2：検討用の加速曲線

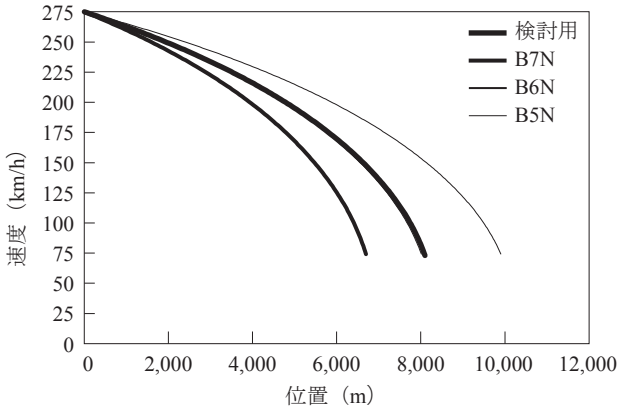

図 3：検討用ブレーキ曲線（275 → 75 km/h）

ンを 5.3 % で重みづけして重ね合わせ、検討用の制動パターンを作った。なお、参考文献に示された制動パターンは数秒の空走時間を考慮したものになっているので、あらためての考慮は不要である。

同様に、停止時については 8 閉塞目の終端 100m 手前までに停止するものとした（275 km/h から停止までの制動距離が 9,500 m）。具体的には図 4 のように、B5N を 62.2 %、B6N を 37.8 % で重みづけして重ね合わせ、制動パターンを作った。

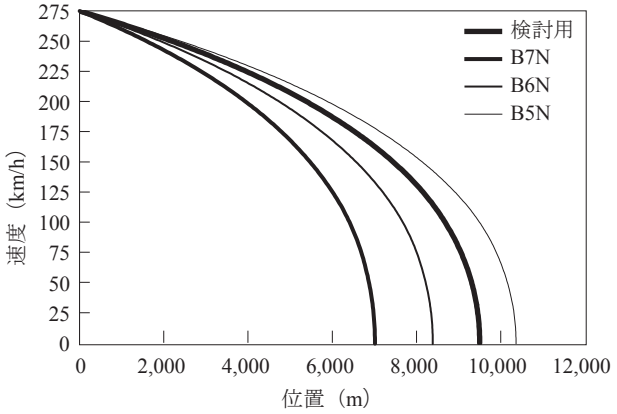

図 4：検討用ブレーキ曲線（停止時）

信号場進入時に 160 km/h まで減速する場合については、図 4 のパターンを準用するものとする。

以上の想定の下、初速を 260 km/h として経過時間および走行距離を整理すると、表 5 のようになる。

4.4 駅構内の基本設計

本節では、単純に上下方向の列車が交換できる構造の駅についての基本設計を行う。図 5 のように、文献（吉武，2006）を参考に駅構内の分岐器の速度制限を 75 km/h、分岐器部分 200 m、駅構内複線部分 500 m（うちホーム部分 200 m）とする。このとき、表 5 の結果をもとにすると 260 km/h から減速して分岐器の 100 m 手前までに 75 km/h へと減速するには約 6.8 km（走行時間 140 sec）を要する。

表 5：減速時の主要速度までの経過時間と走行距離

速度（km/h）	75 パターン		160 パターン		停止パターン	
	経過時間（sec）	走行距離（m）	経過時間（sec）	走行距離（m）	経過時間（sec）	走行距離（m）
260	0	0	0	0	0	0
230	29	1,969	33	2,241	33	2,241
170	79	4,749	89	5,353	89	5,353
160	86	5,068	97	5,717	97	5,717
120	113	6,115	―	―	127	6,877
75	140	6,840	―	―	156	7,654
0	―	―	―	―	199	8,091

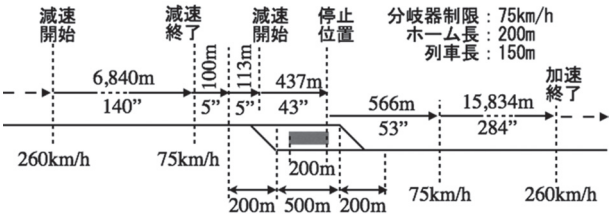

図 5：駅構内の基本設計

ホーム端で停止する場合、停止位置の 437 m 手前から減速を開始する。駅手前の減速開始地点から停止地点までの走行距離は約 7.5 km で、走行時間は 193 sec である。出発時は表 4 の結果をもとにすると 75 km/h に達する前に列車全体が分岐器を抜けるので分岐器の制限速度を考慮せずに単純加速すればよく、260 km/h に達するまでの時間は 337 sec、走行距離は 16.4 km である。

4.5 信号場の基本設計

本節では、列車が走行しながら交換できる構造の信号場についての基本設計を行う。図 6 のように、構内分岐器の速度制限を分岐側 160 km/h、直進側無制限とし、分岐器部分の延長を 200 m とする。信号場に進入する際に分岐器に進み、進出する際は直進する配線とする。原則として信号場での列車のすれ違いは、信号場の中央地点とする。

図 6 のように、信号場への進入に先立ち、260 km/h から減速して信号場入口の分岐器の 100 m 手前までに 160 km/h へと減速するには表 5 の結果のように約 5.7 km（走行時間 97 sec）を要する。進入時は分岐側に進み、最初の閉塞を列車が進行中に背後の分岐器を転換し、図 7 の状態に移る。もしも対向列車が遅れている場合は 1 分（160 km/h での走行距離 2,667 m）の余裕を見込んでおき、この

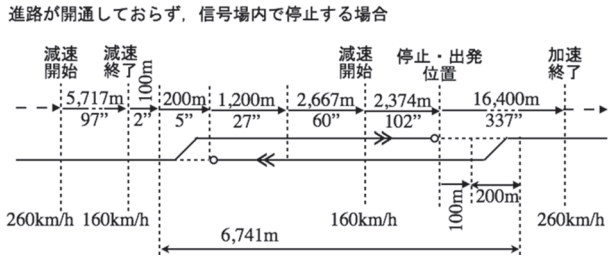

図 6：信号場構内の基本設計（停止する場合）

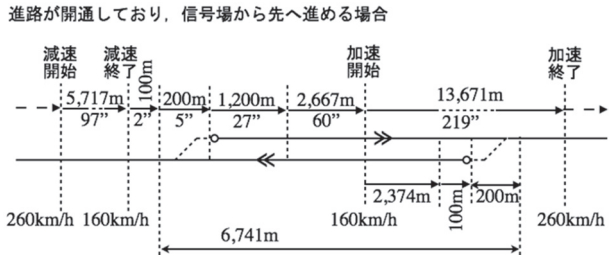

図 7：信号場構内の基本設計（進行する場合）

間に進行方向の分岐器が転換した場合、図 7 の状態に移る。進路が開通しない場合は停止パターンに沿って減速し、分岐器の手前 100 m の地点で停止させる。

前述の最初の閉塞を通過後の 1 分の余裕（走行距離 2,667 m）の間に前方の分岐器が転換して進路が開通した場合（図 7 の状態）、即座に加速を開始することができる（遅れている方の列車の遅延回復がしやすい）。

5. 具体的な試算と確認

5.1 検討対象区間の設定

本章では、松江－鳥取－京都間約 285 km に単線方式で新幹線整備を行った場合、軌道延長がどの程度短縮できるか、所要時間や表定速度はどの程度になるかについて試算を行う。路線の基本条件等は前章のとおりである。なお、以下は単線新幹線システムの検討目的であり、実際の新幹線計画が経済的に成立することを保証するものではない。

表 6：想定する駅の位置と駅間距離

駅	松江から (km)	駅間 (km)	駅	松江から (km)	駅間 (km)
松江	0.0	－	兵庫 B	165.4	28.7
鳥取 A	26.9	26.9	京都 A	200.4	35.0
鳥取 B	76.3	49.4	京都 B	216.6	16.2
鳥取	111.0	34.7	京都 C	254.1	37.5
兵庫 A	136.7	25.7	京都	284.8	30.7

5.2 駅や信号場の設置方法

駅は既存の鉄道駅に併設し、鉄道駅が無い場合は集落等に最も近い位置に設置するものとして位置を決め、地図上で駅間距離を測定した。30 分間隔で列車を運転することを想定することとするため、15 分（900 秒）ごとに双方向の列車が交換するように信号場、もしくは駅を設置する。信号場での列車のすれ違いは、信号場の中央地点とする。駅と信号場が近接する場合は、駅構内と信号場構内とを一体化させるような配線とする。

まず松江で列車交換する想定とし、順次東方向に向かって前章の加速曲線や制動曲線を考慮しながら信号場の位置や配線を決める。駅での停車時間は 60 秒以上とする。

5.3 単線新幹線システムの構築例

前節の方法で駅や信号場の配置を試みた結果が図 8 である。列車の交換は基本的には信号場で行われる結果となったため、駅構内の線路が点線で表示されている箇所は単線システムを成立させるための必須条件ではなく、構内配線をさらに簡略化し、ホーム数も削減可能である。

信号場や駅構内など複線区間の合計は、駅構内配線を簡略化しない場合は約 53.3 km、簡略化した場合は約 47.9 km であり、駅や信号場以外の約 230 km は単線である。すなわち全線を完全に複線化した場合（284.8 × 2 = 569.6

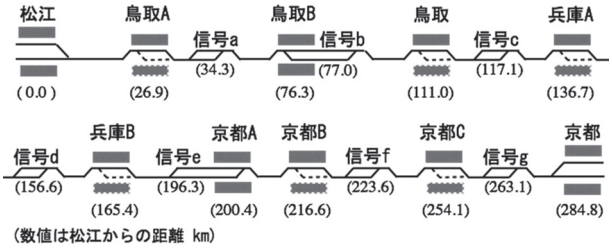

図 8：駅と信号場の位置決め結果（配線略図）

km）に比べて軌道の総延長を約 40 % 短くすることができる。

5.4 運転速度や所要時間など

図 9 は松江からの距離を横軸に、運転速度を縦軸にとったものであり、運転速度推移の略図（加減速の開始位置と速度、終了位置と速度を単に直線的に結んだもの）を示している。駅間距離が比較的短く、全駅停車であるため、最高速度の 260 km/h に達することのない区間も存在している。また、駅間に信号場があり、これも最高速度での走行時間が少なくなっている原因になっている。

図 10 は分単位の時刻を横軸に、縦軸に松江からの位置をとった列車ダイヤである。グラフの傾きが急であるほどその列車の速度が大きい。双方向の列車は等間隔で同じ停車駅と速度で運転されているので必ず同じ場所で交換が行われる。また図 9 のような速度変化があるにもかかわらず、特定の区間が大幅に遅いわけではない。対象とした全区間 284.8 km の所要時間は約 113 分であり、表定速度は 151.7 km/h となった。この表定速度は、表 7 のように他の新幹線における全駅停車型の列車とほとんど変わらない、このことから、単線の新幹線システムは一定レベルの利便性を確保できると考えて差し支えない。

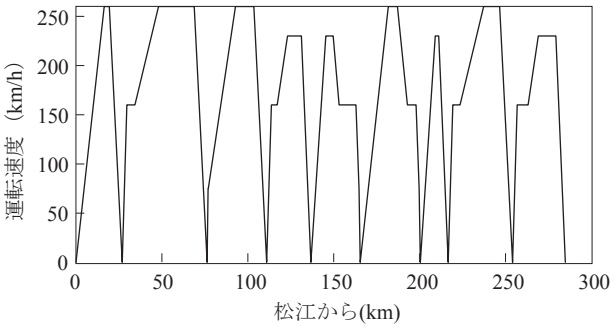

図 9：運転速度の経過略図

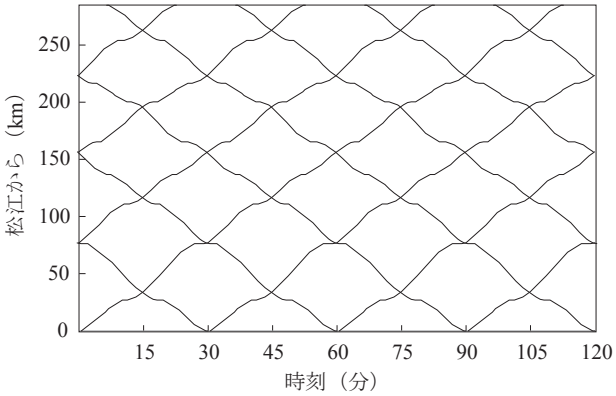

図 10：単線新幹線の列車ダイヤ

6. 本研究の結果と今後の課題

6.1 研究の結果

本研究では新幹線網整備計画の手法としてのミニ新幹線やスーパー特急方式は、費用は抑えられるものの整備後の利便性が高くないとの問題意識の下、単線の新幹線について基本的なシステム構成を検討した。その結果、ケーススタディを通じ、全線複線である場合に比べて軌道の総延長を約 40 % 低減させながらも、片道 2 本／時の運転本数と約 150 km/h の表定速度を確保しうる新幹線システム構築の可能性を示すことができた。

6.2 単線新幹線システムそのものに関する課題

高速道路の暫定 2 車線整備については、正面衝突事故が多いことや運転への不安、低速車による渋滞の発生のしやすさなどの課題が指摘されている（国土交通省社会資本整備審議会，2007）。本研究の単線新幹線については、衝突等に関する安全については ATC により確保されることを想定しており、道路の暫定整備とは状況が異なる。また、事故時の復旧については、高速道路の場合は使用可能な車線が活用されるが、新幹線は複線であっても使用可能な線路を双方向通行させるわけではない。在来線の複線区間では、使用可能な線路を徐行で運転させて仮復旧させることもあるが、新幹線の場合は原則として工事中は運転そのものが中止される。さらに、車両故障に

表 7：本研究の結果と既存新幹線との表定速度比較

	距離（km）	時間（分）	表定速度（km/h）	区間	備考
単線新幹線	284.8	113	151.7	松江→京都	全駅停車
つばめ 353	288.9	111	156.2	博多→鹿児島中央	全駅停車
はくたか 577	286.9	113	152.3	高崎→富山	安中榛名通過
はやぶさ 16	291.7	120	145.9	木古内→盛岡	全駅停車
Max とき 351	303.6	110	165.6	大宮→新潟	全駅停車
こだま 769	281.9	110	153.8	西明石→広島	全駅停車

ついては在来線の貨物列車などとは異なり、新幹線では一部の動力車が故障しても速度を抑えながら運転が継続できるようになっている。故障の程度が大きく、運転不能な場合についても正常な編成を別途準備して故障編成と連結して運転されるため、単線複線は関係がない。事故時に複線であることが活用されるのは、故障列車に正常な列車を横付けして乗客を待避させる場合などに限られており、余程の大事故でもない限り、複線だからといって事故や車両故障に対して圧倒的に優位というほどではないと思われる。

線路容量が小さいことを除くと、単線鉄道の最大の課題はダイヤが乱れた際の回復のしにくさであり、本研究では1分程度の遅れまでは許容できるようにシステム構築するとともに、駅間所要時間の計算等において各所に余裕を持たせた。しかし、新幹線は遅れにくいとはいえ、数分あるいは十数分といった大幅な遅れが生じる場合が皆無ではなく、このような場合にはどのような影響があるか、遅延回復の余地があるかなどについては、今後の分析課題であると思われる。

6.3 アップグレードや費用積算の課題

本研究で取り扱った単線新幹線システムは、既存の暫定整備計画の課題点を改善することが主眼であるが、実際にこのシステムを採用する場合、インフラを将来へのアップグレードを考慮した構造にするのか、それとも恒久的な単線システムとして整備するのかによって整備内容が異なってくると考えられる。自動車道整備においても、2車線整備は将来の4車線化を考慮した整備を行うのか、それとも恒久的な2車線整備とするのかによってインフラの建設方法が異なっている。単線新幹線システムについても、将来の速達型列車の運転や複線化を考慮した整備とするのか、それとも恒久的な単線システムにするのかによって整備内容や費用も異なってくると考えられる。また、どのような特徴を持つ区間を将来のアップグレード対象とし、どのような区間は恒久的な単線システムが適切であるかなどについても、検討課題と思われる。

引用文献

波床正敏・中川大（2006）．幹線鉄道におけるハブシステム構築の効果と意義に関する研究．都市計画論文集，No. 41-3，839-844.

波床正敏・中川大（2011）．幹線鉄道網の最適化基準が路線網形成に与える影響の比較分析．土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol. 67，No. 5（土木計画学研究・論文集 28 巻），I_957-I_966.

波床正敏・中川大（2015）．整備スキーム改善による幹線鉄道網における地域間交流活性化に関する定量的研究．土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol. 71，No. 5（土木計画学研究・論文集第 32 巻），p. I_725-I_736.

田中義太郎・山田宗明・中前茂之（2004）．完成度の高い暫定２車線整備指針について―地域需要に沿った社会資本整備とコスト縮減による効果の早期発現―．土木建設技術シンポジウム論文集 2004 年，61-66.

金子雄一郎・福田裕希・島崎敏一（2008）．社会基盤施設整備計画の柔軟性評価―高速道路暫定 2 車線開業を例に―．建設マネジメント研究論文集 2008 年，Vol. 15，33-40.

藤原孝司・池本一紀・平山永・片野勇・井堀真二郎・齋藤哲哉（2008）．台湾高速鉄道信号システム．日本信号技報，Vol. 32，No. 1.

平川賢爾（2006）．ドイツ高速鉄道脱線事故の真相. 慧文社.

王鋭・中村文彦・岡村敏之（2011）．中国高速鉄道事故―その原因と遠因の分析―．土木計画学研究講演集，No. 44，講演番号 301.

野口知見（2013）．スペインの高速鉄道の現状と課題．運輸と経済 2013 年 12 月号，80-82.

AFP（2015）.「ブレーキの遅れ」が原因，11 人死亡の仏 TGV 脱線事故 , http://www.afpbb.com/articles/-/3067423.

France Télévisions (2015). Dramatique accident de TGV: 11 morts, 39 blessés dont des enfants, http://france3-regions.francetvinfo.fr/alsace/accident-de-tgv-en-alsace-les-recherches-de-corps-se-poursuivent-la-cause-inexpliquee-853995.html.

吉武勇（2006）．鉄道の運転保安設備．日本鉄道運転協会.

田島信一郎（2010）．JR 東日本 E6 系新幹線電車（量産先行車）の概要．鉄道車両と技術，No. 168，16-26，レールアンドテック出版.

高速鉄道研究会編著（2003）．新幹線―高速鉄道の技術のすべて―．山海堂.

岡山惇（1985）．東北・上越新幹線．中央公論社.

海老原浩一（1996）．新幹線―高速大量輸送のしくみ―．成山堂書店.

東海旅客鉄道株式会社（2016）．アニュアルレポート 2016，http://company.jr-central.co.jp/ir/annualreport/_pdf/annualreport2016.pdf.

国土交通省社会資本整備審議会道路分科会有料道路部会第 5 回部会（2007）．高速道路ストックの機能強化の課題，http://www.mlit.go.jp/road/ir/yuryou/5pdf/3.pdf.

Abstract

In recent years, completion becomes a reality of new Shinkansen projects based on Act for Construction of Shinkansen Railway Across the Country. But start of further construction of high-speed lines in the master plan might be criticized from the point of view of cost-effectiveness. Interim construction scheme of Shinkansen, such as mini Shinkansen and superexpress formula has been proposed as low-cost bullet train system. Mini Shinkansen runs at low-speed and often makes cessation of operation or delay from the schedule, because it travels on the conventional lines of the old style. So, it has become less reliable system. Superexpress formula forces travellers to transfer from normal Shinkansen lines. Its construction cost is not much different from the full standard high-speed line and it makes trains

operate at low-speed as Seikan Tunnel. So, Superexpress formula has only low usability. In addition, the line except brand-new part is just a conventional line and the system has also a low reliability. In this study, single track Shinkansen system is proposed, which is characterized by low-cost construction, high-speed operation, and direct through service to the normal Shinkansen with wider track gauge. The system configuration has been built in consideration of the technical aspects and operation plan and its basic performance has been confirmed through a case study. As a result, it has been specified that the new system can reduce the total length of the track by about 40 % as compared with the whole double track line and that it also can ensure a service level of two trains per hour per way with scheduled speed of almost 150km/h.

（受稿：2016 年 8 月 27 日　受理：2016 年 11 月 5 日）