



## 第4章 需要予測

### 4.1 はじめに

#### 4.1.1 東西回廊の輸送需要概観

インド鉄道のトンキロ輸送量は 2000-01 年から年平均 7.1% で増加し、2005-06 年には 4,396 億トンキロの輸送量となった。このうち、石炭輸送はトン数で全体の 44% を占め、東回廊における重要な輸送品目であり、電力需要の伸びと石炭火力発電所の新設にともない、今後とも輸送量の増加が予想される。またコンテナ輸送についても、インド経済の国際化にともない、堅調な増加が予想される。本調査の需要推計結果では、インドの海上コンテナ取扱量は 2006-07 年から 2031-32 年までの 25 年間で約 8 倍に増加し（年率換算すると毎年 8.6% の増加率）、年間 4,300 万 TEU に達する。これは、米国の海上コンテナ取扱量 4,435 万 TEU（2006 年）にほぼ等しく、中国の海上コンテナ取扱量 9,300 万 TEU（2006 年）の半分程度である。

#### 4.1.2 タスク 2 における需要予測

タスク 2 では、タスク 1 の需要予測を見直した。予測手法に関する主要な変更は、駅間 OD 表を推計し、鉄道ネットワークに交通量配分の計算を行なった点である。他では、

- 1) PETS-I から PETS-II への変更にあわせた石炭輸送量推計値の見直し
- 2) コンテナ取扱量に関する Maharashtra 州と Gujarat 州の割合の見直し
- 3) Gujarat 州の港湾における鉄道分担率の見直し
- 4) 品目別増加率の見直し

推計の目標年度も、事業計画の見直しにあわせて 2013-14 年から 2033-34 年までの 5 年ごとに設定した。2033-34 年の予測値は、タスク 1 の最終目標年度であった 2031-32 年の推計値を用いた。

本章には、タスク 1 と重複する社会経済フレームワークと旅客輸送の需要予測については記載していない（Volume2 第 6 章参照）。

#### 4.1.3 本調査における需要予測の方法

##### (1) 需要予測の構成

本調査では、PETS-II と『インターモーダル貨物輸送戦略』の成果を活用し、鉄道貨物輸送の需要予測を行った。需要予測全体の流れは次頁の図に示す通りである。図中、灰色の四角形はタスク 2 での変更を示す。

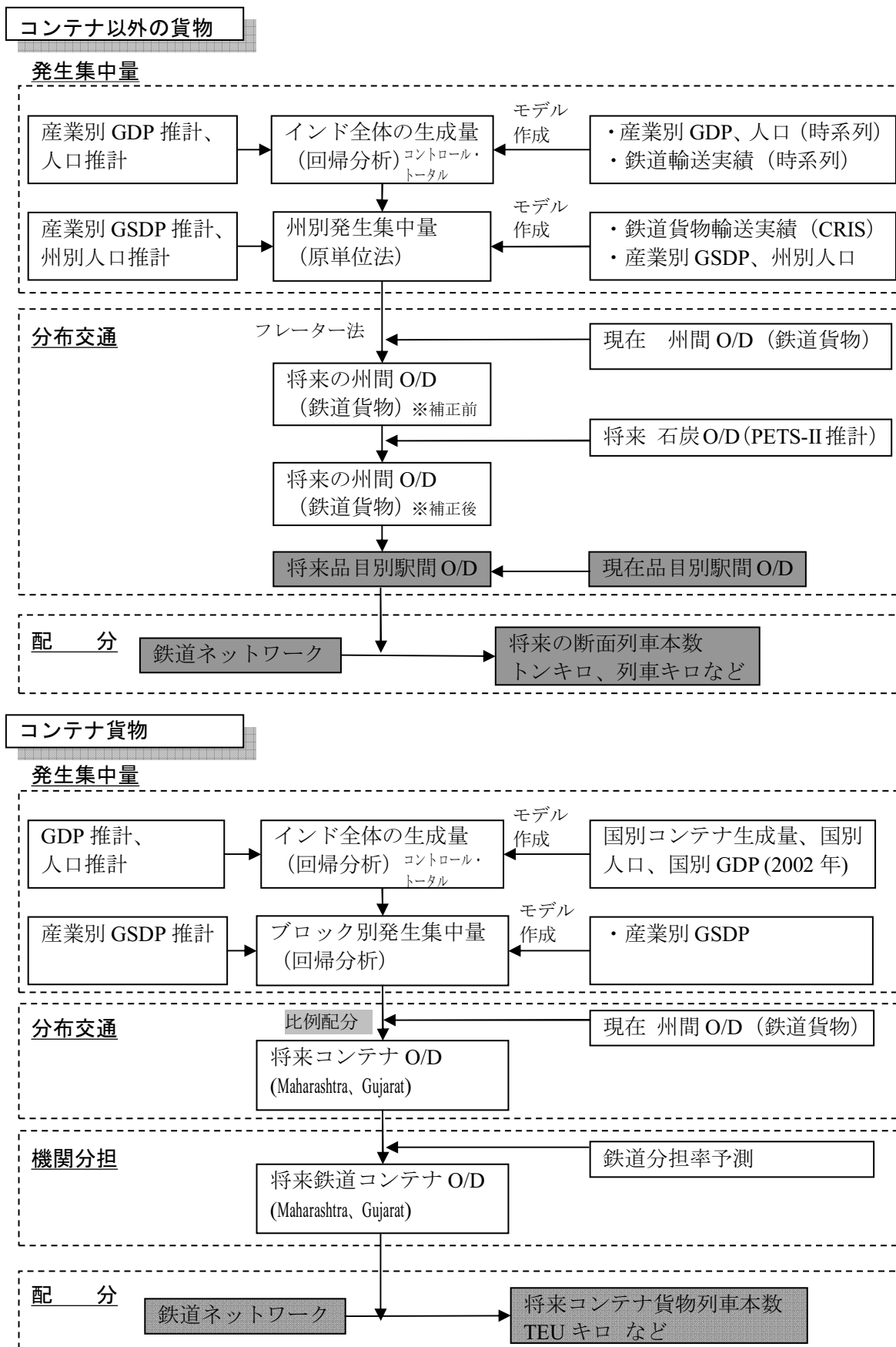


図 4-1 本調査における貨物列車の需要予測フロー

PETS-II との主要な違いは、品目別増加率の推計方法、コンテナの推計方法、及び在来線における貨物と旅客の推計（経済財務分析のため本調査で追加）である。品目別増加率については、PETS-II では仮定の数値であるが、本調査では過去の統計から産業分類別 GDP と人口を変数にした回帰分析を行ない、州間の増加率を推計した。

また、タスク 2 では、鉄道ネットワークデータを作成し、交通量配分を行なっている。すなわち、現在の駅間 OD に、品目別州間増加率を適用して将来の駅間 OD を推計し、交通量計算のために鉄道ネットワークに配分した。この際、東西回廊に沿う在来線の容量制限が考慮され、容量不足のため鉄道ネットワークに配分できない交通量が推計された。

## (2) 駅間 O/D と鉄道ネットワーク

JICA 調査団は、鉄道省傘下の CRIS（Centre for Rail Information Systems）より列車 O/D の提供を受けた<sup>1</sup>。これは、列車運行単位の O/D であるが、配分計算に必要なデータは駅間 O/D である。CRIS のデータに登場する駅数は 2,533 であるが、これを 340 駅に集約して駅間 O/D を作成した。このため推計の対象となる現在輸送量は、実績の 6 億 8238 万トンに対し、約 8 割の 5 億 3500 万トンである。駅間 O/D を鉄道の路線に配分するため、鉄道ネットワークデータ（Volume 4 Technical Working Paper Task2, 4 参照）を準備した。配分用鉄道ネットワークは、東西回廊以外では簡略化しており、実際の営業キロ 63,332km に対して約 7 割となる 43,353km である。

	路線延長	輸送トン数	輸送トンキロ数
実績（2005-06） <sup>1</sup>	63,332 km	6 億 8238 万トン	4417.6 億トンキロ
本調査のモデル	43,353 km	5 億 3504 万トン	3267.9 億トンキロ

資料<sup>1</sup>：インド鉄道年鑑

## (3) 列車配分

各駅間 O/D の輸送距離を、鉄道ネットワークを用いて計算し、これを用いて全体のトンキロや DFC を利用するトンキロを推計した。また断面交通量を推計するため、駅間 O/D を鉄道ネットワークに配分した。各 O/D 間の経路は、最短距離となる経路としたが、石炭輸送については実際の輸送経路が選択されるよう、ネットワークのデータを調整した。

東西回廊の並行在来線については、旅客の列車本数を考慮するとともに、線路容量を設定し、これを超過する列車本数は道路側に移ると仮定した。それ以外の在来線については、容量無制限を仮定している。

次頁の図は列車配分の流れを示したものである。

<sup>1</sup> タスク 1 参照

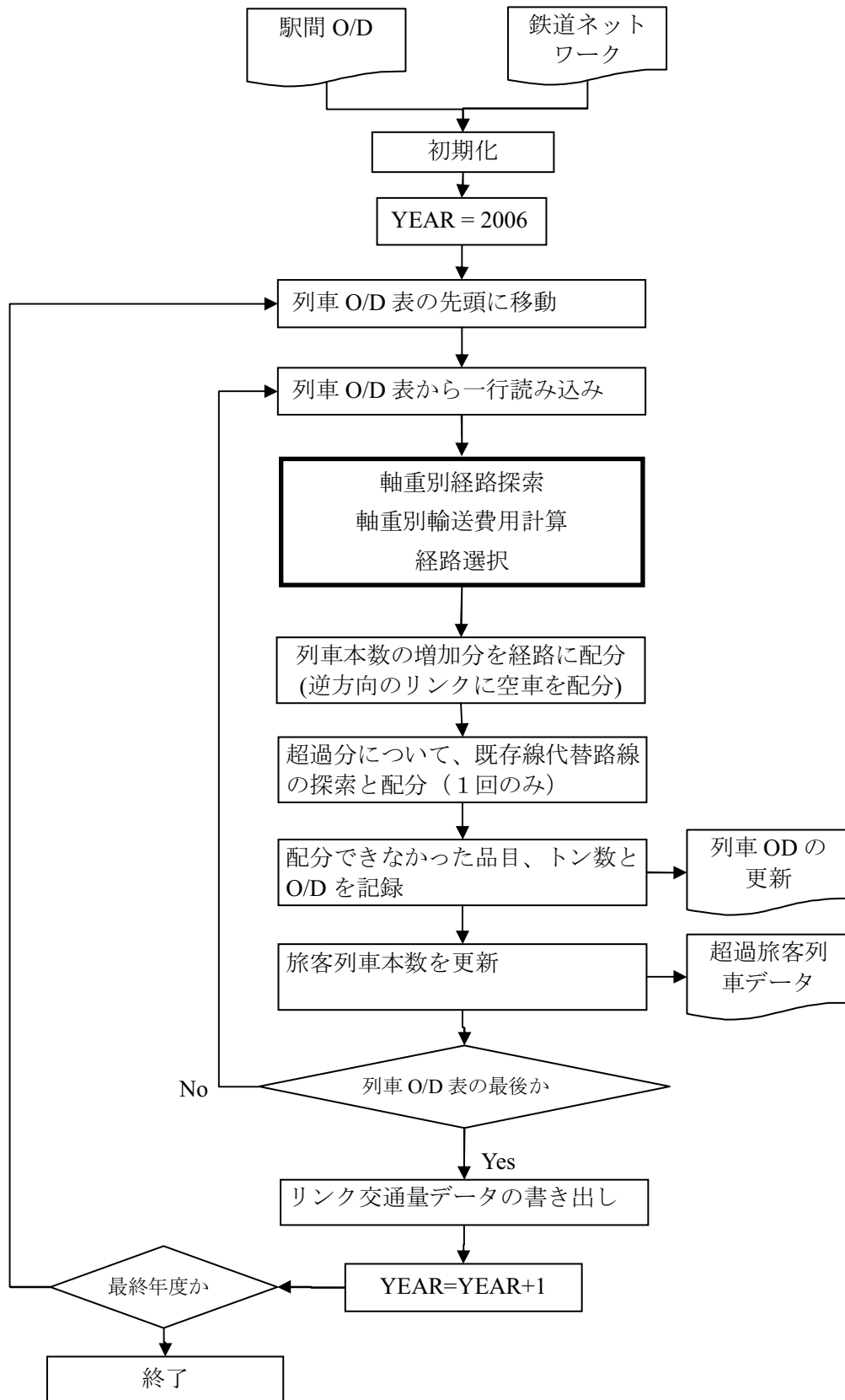


図 4-2 本調査における列車配分の流れ

## 4.2 鉄道貨物輸送の需要予測

### 4.2.1 コンテナ貨物の輸送需要

#### (1) 海上コンテナの生成量

インド運輸省は、海上コンテナの取扱量は年率 18.31%で増加し、2013-14 年度にはインド全体で1,510万 TEUに達すると予想している(National Maritime Development Plan, 2005)。本調査では、国際比較 (20 カ国の 2002 年コンテナ取扱量) より、人口と GDP を説明変数とする重回帰分析を行い、海上コンテナの推計式を以下のようにもとめた。

$$CONT = 0.66 + 2.41 \times 10^{-6} \times GDP + 0.0212 \times Pop \quad (r^2 = 0.96)$$

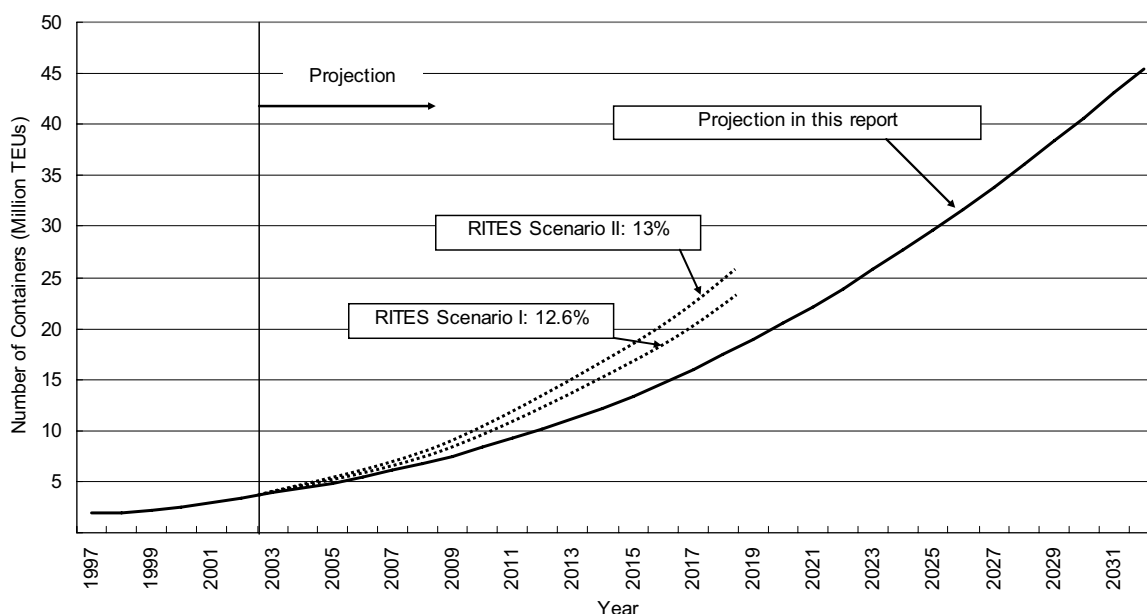
ここで CONT = 年間の海上コンテナ取扱量 (百万 TEU)

GDP = 名目 GDP (百万 USD)

POP = 人口 (百万人)

2050 年における GDP と人口の推計値 (Volume 2 タスク 0&タスク 1 で推計) を上式にあてはめて、2050 年までの年平均増加率を推計した。中間年の年間増加率については、現在の増加率と接続するよう、中間補正を行った。以下の図はインド全体のコンテナ取扱量の推計結果を示す。

インド全体の海上コンテナ取扱量を推計した。その結果、インド国内の港湾における国際コンテナの取扱量は、2021-22 年に 2,215 万 TEU、2031-32 年に 4,305 万 TEU と予測され、2021-22 年までの年間平均成長率は、10.1%と推計された (Volume2 タスク 0&タスク 1 第 6 章参照)。



出所：インターモーダル貨物輸送戦略報告書

図 4-3 インド全体のコンテナ取扱量の将来推計

## (2) 海上コンテナの発生・集中量

インド全体のコンテナ取扱量を各州に割り当てるため、第二次産業の州内総生産（NSDP）を説明変数とするコンテナ取扱量（14 港）のモデルを作成し、各州のコンテナ取扱量を推計した。計算式は以下の通りである。

$$\text{CONT} = -230.6 + 0.000287 \times \text{NSDP} \quad (r^2 = 0.93)$$

ここで CONT: 州別コンテナ取扱量（千 TEU/年）,

NSDP: Net State Domestic Product (100,000 Rupees)

その結果、2031-32 年には、Jawaharlal Nehru 港（JNP）を擁する Maharashtra 州発着のコンテナ輸送量が 1,528 万 TEU（インド全体の 35.5%）、Mundra 港等が立地する Gujarat 州で 1,339 万 TEU（同 35.1%）と推計された。これらの割合は、現在それぞれ 57.1%と 9.6%（2004-05 年）であり、中間年の割合は以下のように推計された。

表 4-1 コンテナ取扱量の推計（'000TEU/年）

年度	Maharashtra 州		Gujarat 州		インド全体 取扱量
	取扱量	割合(%)	取扱量	割合(%)	
2011-12	5,236	57.0	919	10.0	9,187
2016-17	7,563	51.6	2,238	15.3	14,651
2021-22	10,244	46.3	4,552	20.6	22,149
2026-27	12,965	40.9	8,194	25.8	31,729
2031-32	15,283	35.5	13,389	35.1	43,052

出所：調査団による推計

東回廊では現在 Delhi～Kolkata 間の海上コンテナ輸送は実施されておらず、PETS-II では将来需要を想定していない。東回廊のコンテナ輸送は Kolkata における港湾開発の前提条件が不透明であるため、本調査でも検討の想定外とした。

## (3) コンテナ輸送の機関分担

本調査の需要予測の中では、海上コンテナの鉄道分担率の設定が最も不確定な要素である。第一年次では交通調査の結果を利用して、簡単な機関分担モデルを構築し、Maharashtra 州と Gujarat の港における鉄道分担率をそれぞれ 35%と 45%と推計した（インターモーダル貨物輸送戦略報告書）。現在、両州の港における分担率は約 25%であることから、モデルは 10～20%の増加を示している事になる。

鉄道分担率を拡大するためには、長距離帯のシェアを獲得する必要がある。短距離帯では道路との競争が厳しいからである。このため、鉄道がすでに長距離帯で大きな割合を占めている場合には、さらなるシェア拡大は難しい。現在、Mumbai～Delhi 間のコンテナ輸送に占める割合は 60%であると言われている（鉄道省）が、JICA 調査団が実施した交通量調査から推計すると、同区間の鉄道分担率は 85%であった。もし同区間のトラック分担率が 15%でしかないとする、鉄道の 10%シェア拡大は難しい。一方で、Mumbai～Delhi 間では一般トラックや、港湾発着ではないコンテナの道路輸送量が多く、これらを取り込む事により、シェア拡大も可能である。このためには、効率的なインターモーダルシステ

<sup>1</sup> 路側 OD 調査で、2007 年 6 月実施（2 日間）。場所は国道 8 号の Haryana～Rajasthan の州境。コンテナトラックのみを対象とした。

ムが不可欠である。ここでは、必要なインターモーダル施策が実施される事を前提として、Maharashtra 州の港における鉄道分担率を 35%に設定した。

鉄道分担率は、道路との競争に加え、産業立地にも影響を受ける。例えば、Gujarat の港周辺で大規模な産業開発が進むと、短距離帯の割合が高くなり、鉄道分担率は低下する。現在、港湾と接続する道路の整備水準は高くはないが、将来的には改良される。このことから、Gujarat の港における鉄道分担率は、45%ではなく 35%に設定した。

鉄道分担率は、徐々に増加すると仮定して中間年の値を推計した。これから、鉄道による将来のコンテナ輸送量を以下のように推計した。

**表 4-2 コンテナ輸送量(発着計)の推計('000TEU/年)**

年度	Maharashtra 州		Gujarat 州		合計	
	鉄道輸送量	分担率	鉄道輸送量	分担率	鉄道輸送量	分担率
2004-05	647	25%	76	11.35%	723	22.2%
2011-12	1,414	27%	138	15%	1,552	25.2%
2016-17	2,420	32%	448	20%	2,868	29.2%
2021-22	3,585	35%	1,593	35%	5,178	35%
2026-27	4,539	35%	2,868	35%	7,407	35%
2031-32	3,549	35%	4,684	35%	10,035	35%

出所：調査団による推計

#### (4) ICD の将来取扱量

各港における取扱量の増加率を、現在の駅間 O/D（港～ICD 間）に適用して、ICD の将来取扱量を推計した。Gujarat の港（Mundra、Kandla、Pipavav）については、各 ICD の割合が JNPT と同じになると仮定した。Delhi 近郊と Ludhiana における ICD の将来推計値は以下の通りである。「Delhi 近郊」は、TKD、Dadri のほか、Rewari を含む。海上コンテナ自体の増加（今後 25 年間で約 8 倍）と鉄道分担率の上昇から、全体として ICD での取扱量は 12～13 倍増加すると推計された。その結果、Delhi 近郊では、現行の 50 万 TEU 弱から 2033-34 年には 600 万 TEU に増加すると推計される。これだけのコンテナ取扱が特定の場所に集中する事は現実的ではなく、実際には分散配置していくものと予想される。

**表 4-3 Delhi と Ludhiana の ICD 取扱量推計('000TEU)**

	2005-06	2013-14	2023-24	2033-34
Delhi 近郊	485	1,223	3,581	5,925
Ludhiana	113	254	861	1,530

出所：調査団による推計

#### (5) 国内コンテナ

インド鉄道が扱う国内コンテナの量は、コンテナ全体の約 2 割である。海上コンテナの急速な増加に比較すると、国内コンテナの伸びは緩やかであるが、2005-06 年度は対前年で 6.4%増加し、37 万 4 千 TEU であった。今後とも国内コンテナ輸送は成長を続けると予想されるが、本調査の中でその具体的な推計には至っていない。本調査では、PETS-II の想定と同様に控えめな値として 2%の伸び率を想定した。



表 4-4 鉄道によるコンテナ輸送量('000TEU)

	2003-04	2004-05	2005-06
国内コンテナ	350	351	374
海上コンテナ	1,252	1,376	1,557
合計	1,602	1,728	1,931

出所：鉄道省

## 4.2.2 石炭の輸送需要

### (1) 石炭需要

石炭の産出量は、過去 5 年間 (1999-00~2004-05) に年平均増加率 5% で増加している (褐炭を除く)。インドにおける石炭の国内需要は 4 億 3646 万トン (2004-05) で、2006-07 年に 4 億 3,646 万トン、2011-12 年には 6 億 2 千万トンに増加すると推計されている (第 10 次 5 ヶ年計画)。これは、年平均増加率では 5.1% となる。

インド鉄道は 2005-06 年に 2 億 9425 万トンの石炭を輸送し、その約 75% は発電所向けの輸送である。インドの総発電容量 127,673MW のうち、69,199MW (54.2%) は石炭による発電である (Economic Survey 2005-06)。石炭は東回廊の中心的な輸送品目であるため、石炭火力発電所の将来計画をもとに石炭輸送需要を推計した。

### (2) 石炭火力発電所

CIRS 提供の OD 表を用いて、鉄道による石炭輸送がなされている主要な石炭火力発電所を特定した。下表は、東回廊に関連する石炭火力発電所の一覧である。調査の基準年が 2004-05 年であるため、2005 年 3 月以降に運転予定の発電所については、基準年の需要には含めていない。

表 4-5 石炭火力発電所の一覧

State	Owner	Name	Capacity (MW)
Delhi	Indraprastha Power Generation Co. Ltd. (IPGCL)	Indraprastha	237.5
		Rajghat	135
	National Thermal Power Plant Co. Ltd. (NTPC)	Badarpur	720
Haryana	Haryana Power Generation Co. Ltd. (HPGCL)	Faridabad	180
		Panipat	860
Punjab	Punjab State Electricity Board (PSEB)	Bhatinda	440
		Guru Har Govind Stage I (Lehra Mohabbad, Bathinda)	420
		Roper	1260
Uttar Pradesh	Uttar Pradesh Rajya Vidyut Utpadan Nigam Ltd. (UPRVUNL)	Harduaganj	450
		Panki	472
		Paricha	640 <sup>*1</sup>
		Dadri	840
		Tanda	440
	NTPC	Unchahar	1,050 <sup>*2</sup>

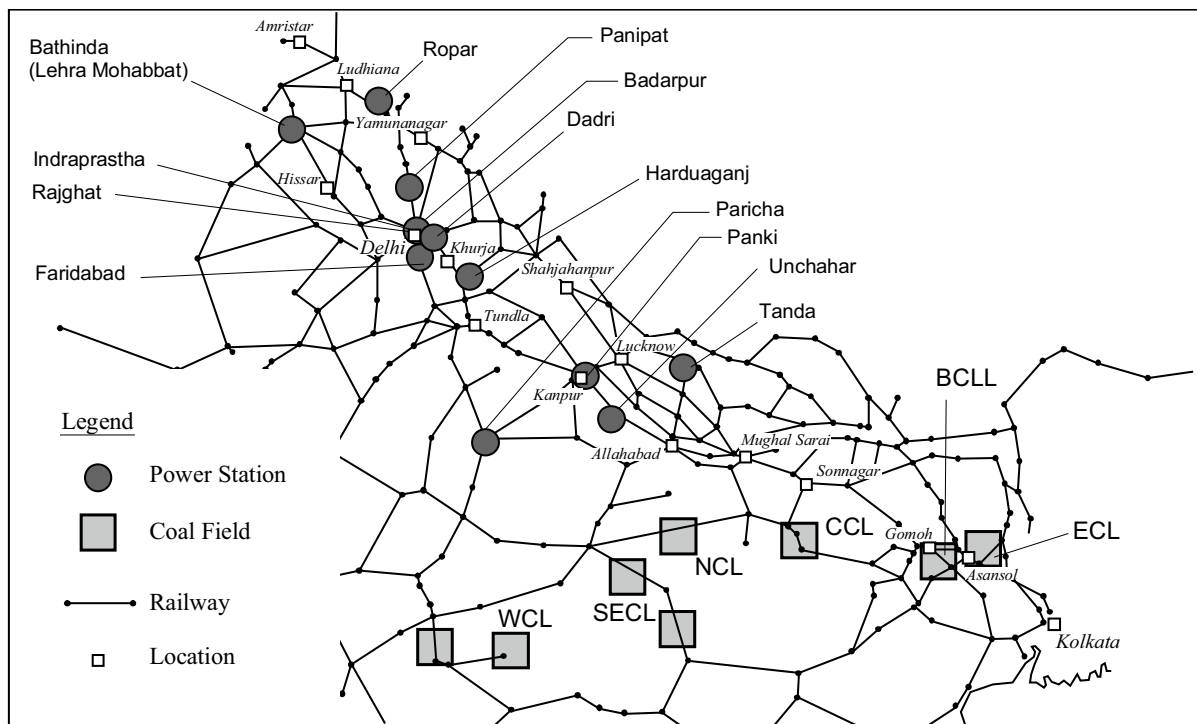
出所: Central Electricity Authority (www.cea.nic.in) 資料より調査団作成

\*1: including Extension Unit 3 & 4 (420MW), commissioned December 2006

\*2: including Stage III (210MW), commissioned September 2006

### (3) 石炭輸送

下図に、石炭火力発電所と炭田の分布を示す。ECL (Eastern Coalfield Ltd.) と BCLL (Bharat Coking Coal Ltd.) 及び CCL (Central Coalfield Ltd.) からの石炭列車は、Sonnagar から DFC ルートを経て北部の発電所に輸送される。その他の炭田から輸送される石炭は DFC ルートを通過しないが、現ルートは飽和状態に近いため、DFC が整備された場合には、Kanpur から DFC に入ると想定できる。



出所：調査団作成

図 4-4 炭田と石炭火力発電所の立地図

### (4) 石炭火力発電所のプロジェクト

インドでは電力需要が急速に伸びており、石炭火力発電所を含む多くの発電所が計画されている。下表は東回廊に関連する発電所の計画（第 11 次、12 次五カ年計画の期間）をまとめたものである。Yammunanagar と Harduaganj 及び Paricha の事業は建設中である。発電容量の合計は 7,370MW となり、これから計算される石炭需要は約 3,685 万トンである。なお、1,000MW の石炭火力発電所では 500 万トンの石炭を消費すると仮定している。

表 4-6 第 11、12 次五ヶ年計画期間中の火力発電所計画

Owner	State	Name	Capacity MW	Start by
PSEB	Punjab	Guru Har Gobind Stage II (Bhatinda)	500	May 2007
HPGCL	Haryana	Yamunanagar Unit 1 & 2	600	March 2008*3
UPRVUNL	UP	Harduaganj Unit 5 & 6	2×250	N.A.
UPRVUNL	UP	Paricha – Units 5 & 6	500	N.A.
NTPC	UP	NCPP Dadri Stage -II	490	2009-10
Rosa Power Supply Co. Ltd.	UP	Rosa Thermal Power Plant*4 (Shahjahanpur)	600	2010
NTPC	UP	Tanda extension	500	N.A.
NTPC	Delhi	Badarpur	2×490	2010
GVK Power Ltd.	Punjab	Goindwal Thermal Plant (Amrister)	2×250	March 2009
HPGCL	Haryana	Hissar Thermal Plant (near Barwala)	2×600	N.A.
Tata Powr Ltd.	UP	Chola (near Khuja)	2×500	April 2011
Total			7,370	

出所：PETS-II、調査団調べ

上記の計画から、PETS-II では 2011-12 年の石炭輸送量を以下のように推計している。表中、2005-06 年の輸送量は調査団が CRIS の列車 O/D データより集計したもので、PETS-II の集計値とは多少異なる。

表 4-7 東回廊の石炭輸送(2011-12)

単位：百万トン

Powerhouse	2005-06					2011-12				
	ECL	BCCL	CCL	NCL/SECL	Total	ECL	BCCL	CCL	NCL/SECL	Total
Badarpur	0.55	0.09	2.82		3.46	1.70	0.15	5.15		7.00
Batinda	0.13	0.14	1.19	0.29	1.75	0.75	0.10	1.40	0.30	2.55
Dadri	0.17		1.86		2.03	0.50	6.15			6.65
IP/Rajghat				0.21	0.21				1.92	1.92
Faridabad			0.70		0.70			0.83		0.83
Feroze Gandhi	0.48	0.61	1.80		2.89	0.48	0.52	3.94		4.94
Lehra Mohabbad	0.50		1.11		1.61	3.05		1.55		4.60
Panki	0.09	0.34	0.40		0.83	0.49	0.35	0.56		1.40
Harduaganj		0.18	0.28		0.46		0.50	4.13		4.63
Paricha	0.06	0.23	0.17	0.06	0.52	0.29	0.21	4.50	0.06	5.06
Rpoer		0.37	2.79	1.28	4.44		0.30	3.00	1.45	4.75
Tanda	0.36	1.92	0.25		2.53	0.66	0.36	4.06		5.08
Yamunanagar					0.00				3.00	3.00
Gindwal Sahib					0.00			3.00		3.00
Chola					0.00			2.50		2.50
Total	2.34	3.88	13.37	1.84	21.43	7.92	8.64	34.62	6.73	57.91

出所：調査団、PETS-II

2011-12 年以降の計画については、Yamunanagar 発電所で 900MW、TATA の Chola (Khurja 近辺) 発電所で 500MW、Nabha と Talwandi の発電所でそれぞれ 1000MW の増強が計画されている。インドの一人あたり電力消費量は 2012 年に年間 1,000kWh に達すると予想

されているが、それでも先進国の年間 10,000kWh には及ばない<sup>1</sup>。第 11 次、12 次の計画だけではそれ以降の需要を満たせないことは明らかである。PETS-II では CEA (Central Erectoricity Authority) の構想をもとに、2021-22年までにさらに Uttar Pradesh 州で 1500MW、Haryana 州で 500MW の容量追加を想定している。以下の表は、2016-17 年、2021-22 年までの石炭需要の増加を推計したもので、PETS-II と同じ内容である。

表 4-8 石炭輸送の増加想定(2016-17 年、2021-22 年)

単位：百万トン

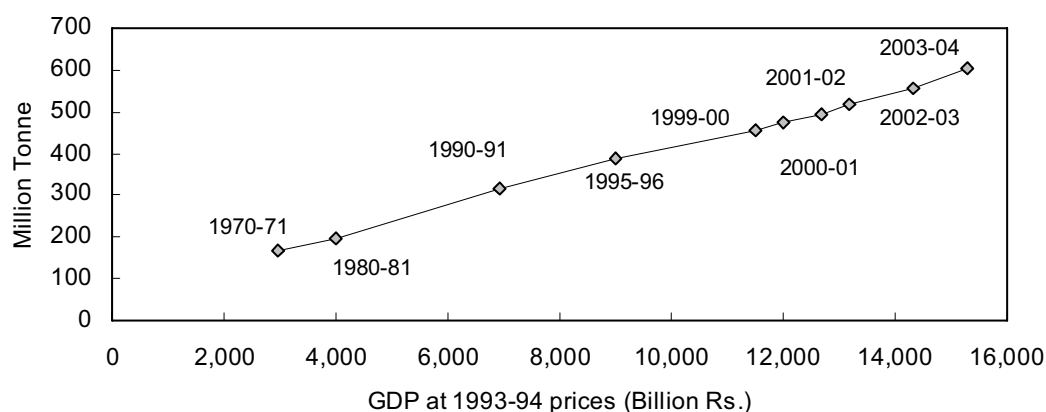
Powerhouse	2016-17					2021-22				
	ECL	BCCL	CCL	NCL/SECL	Total	ECL	BCCL	CCL	NCL/SECL	Total
Yamunanagar				1.50	1.50					0.00
Chola			2.50		2.50					0.00
Nabha				5.00	5.00					0.00
Talwandi				5.00	5.00					0.00
U.P.			2.50		2.50			5.00		5.00
Total	0.00	0.00	5.00	11.50	16.50	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00

出所：PETS-II

### 4.2.3 その他品目の輸送需要

#### (1) 品目別生成交通量

インド鉄道による貨物取扱量は、下図に示すように GDP との相関性が高い。貨物取扱量について、過去のデータを用いて回帰分析を行い、人口と GDP (全部門、第二次産業) を説明変数とする相関関数をもとめた。その中から、最適な関数が選ばれた。



出所：調査団作成

図 4-5 GDP と鉄道貨物輸送量との関係

<sup>1</sup> Overview of Power Sector in India 2005, IndiaCore

表 4-9 人口と GDP 及び鉄道貨物輸送量の時系列データ

Year	1970-71	1980-81	1990-91	1995-96	1999-00	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05
Population*1	541	679	839	928	1,001	1,019	1,037	1,055	1,073	1,091
GDP*2	2,963	4,011	6,929	8,996	11,484	11,986	12,679	13,184	14,305	15,294
Secondary	462	707	1,504	2,069	2,476	2,637	2,730	2,905	3,094	3,350
Coal*3	47.9	64.1	135.2	184.4	210.0	223.7	229.8	235.9	251.8	271.4
Ore	25.9	31.2	39.0	49.1	49.6	53.3	55.1	57.7	70.3	80.7
Iron & Steel	6.2	7.5	10.0	12.1	12.1	11.8	12.4	13.6	14.7	15.2
Cement	11.0	9.6	28.9	32.1	43.6	42.9	44.0	46.3	49.3	53.8
Foodgrains	15.1	18.3	25.4	24.9	31.1	26.7	32.8	45.6	44.3	46.5
Fertilizers	4.7	8.1	18.4	23.7	31.1	27.1	27.2	26.5	23.7	28.8
POL	8.9	15.0	25.0	28.9	34.3	36.3	35.6	34.1	32.0	32.0
Others	48.2	42.1	36.6	35.5	44.6	51.8	55.6	59.3	71.4	73.8
Total	167.9	195.9	318.4	390.7	456.4	473.5	492.5	518.7	557.4	602.1

注: \*1/ million; \*2/ Rs. Billion (at 1993-94 prices); \*3/ million tonne  
出所: Central Statistics Organization (CSO), Indian Railways (IR)

説明変数 (人口、GDP、第二次産業 GDP) の将来推計値 (Volume2 タスク 0&1 第 6 章参照) を回帰式にあてはめて、2031-32 年の品目別貨物需要を推計した。以下の表に、品目別の推計結果と年平均増加率及び説明変数を示す。

表 4-10 品目別生成交通量推計(百万トン)

	鉄鉱	鉄製品	セメント	穀物	肥料
2005-06	82.8	15.6	55.5	47.8	29.7
2031-32	185.5	34.3	147.7	86.1	59.9
年平均増加率	3.1%	3.1%	3.8%	2.3%	2.7%
説明変数	2 次産業 GSDP			人口	GSDP

出所: 調査団推計

## (2) 品目別発生・集中量

上記の交通量は、インド全体の総交通量である。州別の発生集中量については、原単位法により推計した。原単位の計算では CRIS 提供の OD 表を用いた。計算式は以下の通りである。

$$G_{mi} = C_m \times \frac{g_{mi} \times q_m}{\sum_n g_{ni} \times q_n}, \quad A_{mi} = C_m \times \frac{a_{mi} \times q_m}{\sum_n a_{ni} \times q_n}$$

ここで  $G_{mi}$  = 品目  $m$  の州  $i$  での発生量

$A_{mi}$  = 品目  $m$  の州  $i$  での集中量

$C_m$  = 品目  $m$  のインド全体での生成量

$g_{mi}$  = 品目  $m$  の州  $i$  での発生原単位

$a_{mi}$  = 品目  $m$  の州  $i$  での集中原単位

$q_m$  = 品目  $m$  の原単位の説明変数

### (3) 石炭輸送

以上の計算で、石炭の増加率は他の品目に比べて非常に高い推計値となった。回帰分析の結果は、非常によい相関を示しているが、TERI (The Energy and Resource Institute) や World Energy Outlook の推計値と比較すると高い増加率である。本調査においては、東回廊の石炭火力発電所向け石炭以外の石炭輸送については、2.4%の増加率を適用した。

### (4) POL 輸送

パイプライン建設にともない、POL 輸送に占める鉄道のシェアは低下を続けると予想される。このことから、POL 輸送の増加率については0%とした。

### (5) 分布交通

州別発生集中量と現況の品目別州 O/D 表をもとに、将来の品目別州 O/D 表 (34 ゾーン) を推計した。

GDP (第二次産業) については、各州の全国に占める割合を将来にわたって一定であると仮定したため、GDP (第二次産業) を説明変数とする品目については、州間 OD の伸びは全国の伸びに一致する。鉄製品 (伸び率 3.1%)、鉄鉱石 (同 3.1%)、セメント (同 3.8%) が該当する。一方、人口または GDP を説明変数とする品目については、各 OD の伸びは全国の伸びとは一致しないため、フレーター法によって将来 OD を作成し、伸び率の計算を行った。

### (6) 機関分担

コンテナ以外の品目については、はじめから鉄道による輸送需要を推計しているため、機関分担の推計は行っていない。

#### 4.2.4 駅間 O/D

現在の駅間 O/D を用いて、将来の駅間 O/D を以下のように推計した。予測年次は 2011-12、2016-17、2021-22、2026-27、及び 2031-32 である。なお、中間年の推計値については、予測年次の間を直線補正した。

- 1) 石炭輸送については、予測年次の推計値を各 OD に直接適用した。
- 2) コンテナについては、予測年次の推計値を各 OD に直接適用した。
- 3) その他の品目については、州間の品目別伸び率を、各 OD に乗じて計算した。

推計された駅間 OD は 2,7525 レコードからなる。交通量配分のため、2533 駅が 340 駅 (交通ゾーン) に集約された。この 340 駅で集計すると、駅間 OD のレコード数は 13,055 となった。

## 4.3 シナリオ別将来輸送量

### 4.3.1 シナリオ想定

#### (1) シナリオ

将来輸送量は、以下のシナリオ別に推計した。

- 1) DFC を建設しないケース（いわゆるゼロオプション）
- 2) 基本ケース（東西回廊、東回廊のみ、西回廊のみ）
- 3) GDP の成長率が想定より低い場合（7% → 5%）、
- 4) コンテナ輸送の鉄道分担率が低い場合
  - a) 現状と同じ場合
  - b) シェア拡大が遅れる場合
  - c) 減少する場合

#### (2) ネットワーク

交通配分のために使用した各年度の鉄道ネットワークに含まれる DFC の区間は以下の通りである。

Corridor	Section	2013-14	2018-19	2023-24	2028-29	2033-34
Eastern	Dadri – Khurja		Y	Y	Y	Y
	Khurja – Mughal Sarai	Y	Y	Y	Y	Y
	Mughal Sarai – Sonnagar		Y	Y	Y	Y
	Khurja – Lhudiana		Y	Y	Y	Y
Western	Dadri – Rewari		Y	Y	Y	Y
	Rewari – Vadodara	Y	Y	Y	Y	Y
	Vadodara – JNPT		Y	Y	Y	Y

注: Y は、該当する区間が該当する年度に鉄道ネットワークに含まれる事を示す。  
一方で灰色のセルは、含まれない事を示す。

### 4.3.2 列車配分の前提

駅間 O/D を鉄道ネットワークに配分するにあたっての前提条件は以下の通りである。

- ・ コンテナ輸送は全てシングルスタックとする
- ・ DFC の輸送容量は無限大とする
- ・ 東西回廊以外の在来線の輸送容量は無限大とする
- ・ コンテナ以外は、全て 100%空荷の回送輸送が発生する
- ・ トンキロ推計は調査団作成の列車配分モデルを利用<sup>1</sup>

高軸重（25t）貨車は、既存の 20.3t 貨車の 1.28 倍の積載能力があるため、それだけ必要な列車本数の数を減らすことが出来る。列車本数の計算にあたっては、一列車あたり、以下

<sup>1</sup>駅の集約化・ネットワークの簡略化を行なっているため、トンキロ推計値は実際の推計値より少ない値となる。

の積載量を想定した。

**表 4-11 列車あたり積載量**

Commodity	Wagon	Payload (tonne)	No. of Wagons	Train Load (tonne)	Days
Coal	BCN	75.5	48	3,624	330
Steel	BOXN	77.0	40	3,080	330
Foodgrains	BCN	75.5	48	3,624	330
Fertilizer	BCN	75.5	48	3,624	250
Cement	BCN	75.5	48	3,624	300
Limestone	BOXN	77.0	58	4,466	330
Salt	BCN	75.5	48	3,642	300
Others*	-	-	-	2,500	330

注: Others 以外は PETS-II の想定と同じである。Others は、本報告書における想定

線路容量は以下のように設定した。

Line Condition	Capacity (Trains/day/direction)
Single track:	20
Double track of existing lines without automatic signaling system	50
Double track of existing line with automatic signaling system	110
New double track line (DFC)	140
Triple truck of existing line(Mughal Sarai-Sonnagar)	150

### 4.3.3 DFC を建設しないケース（ゼロオプション）

#### (1) 線路容量の制限を考慮した分析

ゼロオプションは、DFC を建設せず、かつ、確定済みの鉄道プロジェクト以外は実施しないケースである。DFC がなくとも、推計された将来交通量が発生すると仮定し、既存の鉄道で輸送できない分は全て道路で輸送される状況を想定する。

鉄道の容量を超える輸送需要の、道路による輸送量は以下のように推計された<sup>1</sup>。貨物トン数を 10 トントラックで換算すると、2013 年度に 218 万台（一日約 6000 台）、2023 年度に 964 万台（同 2 万 7000 台）、2033 年度に 1,684 万台（4 万 7000 台）となる。

**表 4-12 DFC を建設しない場合に道路に移る輸送需要**

	2013-14	2023-24	2033-34	単位
貨物	21.8	96.4	168.4	百万トン
	282	1,227	2,094	億トンキロ
旅客	2	114	341	億人キロ

出所：調査団による推計

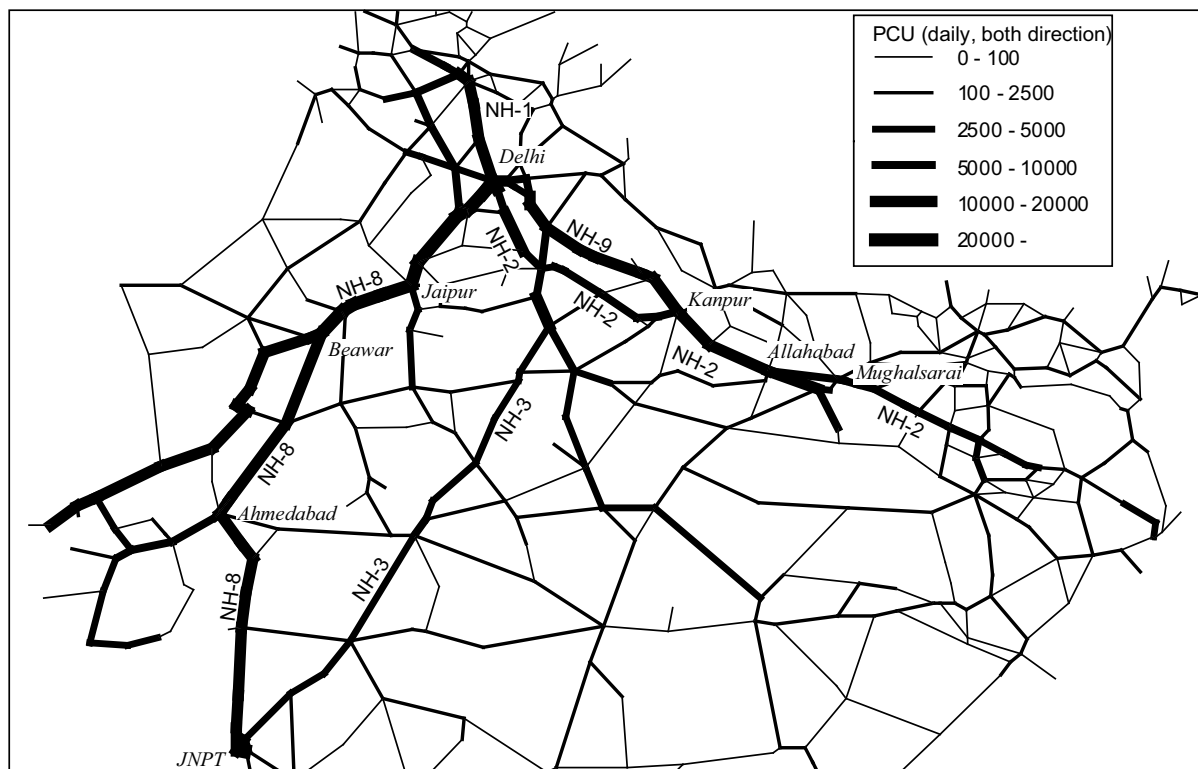
上記の推計値のうち、2033-34 年の輸送需要を道路ネットワークに配分すると下図のようになる。国道 8 号の Mumbai~Ahmedabad~Jaipur 間では、コンテナトラック 4300 台、10 トントラック 1,300 台、バス 1,300 台が加わる事になる。また、Jaipur~Delhi 間では、コ

<sup>1</sup>東西回廊以外では鉄道容量について考慮していないため、実際には上記推計値よりも多くの交通量が鉄道から溢れるはずである。しかしながら、そのような交通は当該プロジェクトの範囲外であるため、鉄道に残存すると仮定した。



ンテナトラック 9,000 台、10 トントラック 2,700 台、バス 1,300 台である。東回廊では、国道 2 号に 10 トントラック 3600 台、多い区間（Allahabad～Kanpur 間）では、10 トントラック 7000 台である。これらは大型車であり、乗用車に換算すると倍以上の交通量である。国道 8 号の Mumbai～Jaipur 間の例では、14,000PCU<sup>1</sup>以上の交通が加わる事になり、このためだけに 4 車線道路が一本必要である。

これらの台数に加え、もともと道路で輸送すると想定した分も道路に加わる。幹線道路では 4 車線化に続き、6 車線化や高速道路建設が進むことになるが、ゼロオプションでは、道路整備を一層加速させなければ対応が困難である。



出所：調査団作成

図 4-6 超過交通の道路への配分（貨物）

(2) 線路容量が無制限である場合

タスク 1 では、線路容量を無視して鉄道の需要予測を行い、線路容量と比較する事で線路区間の需給分析と代替案分析を行った。また、段階整備の検討にも利用された。ここでは、タスク 2 における需要予測の見直しにともない、線路容量を無制限であると仮定した場合の在来線の将来列車本数を再計算した（次頁）。

<sup>1</sup> PCU=Passenger Car Unit

表 4-13 在来線の将来需要(列車本数)

(No. of Trains per Day per Direction)

From	To	2006	2013	2018	2023	2028	2031
Bally Ghat	Saktigarh Jn	72	84	89	102	116	125
Saktigarh Jn	Barddhaman Jn	109	127	134	154	176	190
Barddhaman Jn	Khana Jn	81	95	100	115	131	141
Khana Jn	Andal Jn	63	74	79	91	103	111
Andal Jn	Asansol Jn	85	104	110	127	144	155
Asansol Jn	Sitarampur Jn	68	86	90	103	117	126
Sitarampur Jn	Dhanbad	48	61	65	73	81	86
Dhanbad	Gomoh	42	61	65	73	80	85
Gomoh	Koderma	46	68	73	82	90	95
Koderma	Manpur Jn	44	65	70	79	86	91
Manpur Jn	Gaya Jn	44	66	70	79	87	92
Gaya Jn	Sonnagar Jn	52	74	78	88	96	101
Sonnagar Jn	Sasaram	74	110	118	130	139	145
Sasaram	Mughal Sarai Jn	69	105	112	123	132	138
Mughal Sarai Jn	Chunar Jn	73	98	105	118	130	137
Chunar Jn	Mizapur	80	114	129	143	156	164
Mizapur	Chheoki	80	114	129	143	156	165
Chheoki	Allahabad	80	114	129	143	156	165
Allahabad	Fatehpur	72	104	116	127	137	144
Fatehpur	Prempur	73	105	118	128	139	146
Prempur	Kanpur Central Jn	74	106	119	129	140	147
Kanpur Central Jn	Bhaupur	98	132	146	160	174	184
Bhaupur	Etawah	92	126	140	154	168	178
Etawah	Shikohabad Jn	92	126	140	154	168	178
Shikohabad Jn	Firozabad	92	126	140	154	169	178
Firozabad	Tundla	92	126	140	154	169	178
Tundla	Barhan Jn	79	111	124	137	150	158
Barhan Jn	Hathras Ln	78	110	123	135	148	156
Hathras Ln	Daud Khan	78	110	123	135	148	156
Daud Khan	Aligarh Jn	78	110	123	135	148	156
Aligarh Jn	Khurja Jn	76	107	120	131	143	150
Khurja Jn	Dadri	77	101	111	122	134	141
Saharanpur Jn	Kalanaur	36	49	53	60	67	71
Kalanaur	Jagadhri	36	49	53	60	67	71
Jagadhri	Ambala Cantt Jn	35	45	47	54	60	65
Ambala Cantt Jn	Raipura Jn	84	105	114	132	149	159
Raipura Jn	Sirhind Jn	67	82	87	102	116	124
Sirhind Jn	Ludhiana Jn	51	65	70	84	97	105
Khurja Jn	Bulandshahr	11	20	22	24	25	26
Bulandshahr	Hapur Jn	11	16	17	19	20	21
Hapur Jn	Meerut City Jn	8	13	14	15	17	17
Meerut City Jn	Muzaffarnagar	5	9	10	10	11	11
Muzaffarnagar	Saharanpur Jn	20	27	29	32	36	38
New Delhi	Panipat Jn	68	82	90	104	117	126
Panipat Jn	Kurukshetra Jn	57	70	78	91	103	110
Kurukshetra Jn	Ambala Cantt Jn	57	69	77	89	100	107

From	To	2006	2013	2018	2023	2028	2031
JNPT	Panvel	12	32	43	70	86	94
Panvel	Diva Jn	37	61	73	104	124	135
Diva Jn	Vasai Road Jn	33	53	63	89	105	114
Vasai Road Jn	Virar	61	86	98	130	153	167
Virar	Dhahanu Road	71	98	111	145	171	186
Dhahanu Road	Valsad	67	94	106	140	165	179
Valsad	Udhna Jn	69	95	108	142	166	181
Udhna Jn	Gothangam	88	116	130	167	194	210
Gothangam	Bharuch Jn	78	105	118	153	178	193
Bharuch Jn	Makarpur	77	105	118	153	178	193
Makarpur	Vadodara Jn	77	105	118	153	178	193
Vadodara Jn	Anand Jn	60	70	75	87	99	107
Anand Jn	Ahmedabad	24	29	32	44	52	56
Ahmedabad	Chandlodiya Jn	63	73	77	90	103	112
Chandlodiya Jn	Mahesana Jn	20	24	26	30	35	38
Mahesana Jn	Palanpur Jn	26	30	32	40	46	50
Palanpur Jn	Jawai Bandh	27	33	37	60	82	97
Jawai Bandh	Marwar Jn	27	33	38	61	82	98
Marwar Jn	Haripur	25	31	35	56	77	92
Haripur	Ajmer Jn	21	26	30	51	71	85
Ajmer Jn	Phulera Jn	21	26	30	51	72	86
Phulera Jn	Jaipur Jn	35	42	47	71	93	109
Jaipur Jn	Bandikui Jn	22	28	31	51	70	84
Bandikui Jn	Alwar Jn	22	25	27	35	43	48
Alwar Jn	Rewari Jn	23	26	28	36	44	49
Rewari Jn	Garhi Harsaru	24	27	29	35	41	46
Phulera Jn	Ringas Jn	5	6	6	7	8	9
Ringas Jn	Rewari Jn	12	13	13	14	16	16
Vadodara Jn	Godhra Jn	47	67	77	103	120	130
Godhra Jn	Bhairongarh	64	87	99	133	157	170
Bhairongarh	Ratlam Jn	64	87	99	133	157	170
Ratlam Jn	Nagda Jn	65	88	99	133	157	170
Nagda Jn	Shamgarh	43	62	72	101	121	131
Shamgarh	Kota Jn	43	62	72	101	121	131
Kota Jn	Sawai Madhopur Jn	54	75	86	118	140	152
Gangapur City	Bayana Jn	51	72	83	114	136	149
Sawai Madhopur Jn	Gangapur City	51	72	83	114	136	149
Bayana Jn	Bharatpur Jn	34	53	63	93	113	124
Bharatpur Jn	Mathura Jn	34	53	64	102	130	148
Mathura Jn	Palwal	88	116	131	181	221	246
Palwal	Tuglakabad	98	127	143	194	236	263

出所：調査団推計

#### 4.3.4 基本ケース、DFC 東回廊のみ、DFC 西回廊のみ

##### (1) 東西回廊

基本ケースは、東西両回廊について、第3章に記した整備シナリオに従ってDFCが建設される場合である。推計結果の要約は次頁の表に示すとおりである。

東回廊は、2013-14年に6,870万トンを送り、10年後には倍以上となる1億4080万トン、20年後には1億5240万トンを送ると推計された。一方西回廊Cでは2013-14年に150万TEUを含む3,770万トン、10年後には555万TEUを含む9,620万トン、20年後には888万TEUを含む1億4,040万トンが送りされると推計された。

##### (2) 東回廊のみ、または西回廊のみの場合

これらは、東回廊のみ、または西回廊のみが建設されるケースで、東回廊と西回廊の経済財務分析を別々に行う場合に利用される。東西回廊が同時に建設される場合には、全体の便益を単純に東回廊の部分と西回廊の部分に分ける事が出来ない。このため、東西別々に評価をする場合には、東回廊のみ、西回廊のみが建設された場合を想定することが適切である。結果はVolume 4 Technical Working Paper Task2, 4.に要約されている。

東回廊のみが建設される場合には、東回廊におけるコンテナ輸送量は東西両回廊建設の場合より増加する（2033-34年にトンベースでわずか1%の違い）。これは、Mumbai～Ludhiana間の輸送が、西回廊がある場合には西回廊～Rewari～フィーダーというルートを利用するが、東回廊のみの場合、Vadodara – Ratlam – Agra – Tundla – Khurja – Ludhiana ルートが利用されるためである。

西回廊だけが建設される場合には、わずかに輸送量が減少する（2033-34年にトンベースでわずか1.6%の減少）。

##### (3) 道路及び在来線の交通量

経済財務分析のため、在来線の輸送量も推計された。推計に利用した鉄道ネットワークは、本調査のため単純化したものであり、必ずしも全インド鉄道の輸送量を示してはいないが、経済財務分析に必要な東西回廊の線路網はカバーしている。また、本調査では、コストや便益の計算で必要となるのは全輸送量ではなく、交通量の差である。

経済分析のため、線路容量を超える輸送量を計算し、これを道路ネットワークに配分することで、道路に溢れ出るトン数やトンキロを推計した。旅客列車については、旅客ODがないため、線路容量を超える分は鉄道に平行する国道に移し、旅客人キロを推計した。

結果は、Volume 4 Technical Working Paper Task2, 4 に示す通りである。

表 4-14 基本ケース(東西回廊)の需要推計

Eastern Corridor		Base Scenario (1TEU=12tonne)				
		2013	2018	2023	2028	2031
Ton (Bulk)		67.9	130.2	138.4	145.6	149.6 Million
TEU (Container)		70	162	194	222	237 '000
Total in Ton		68.7	132.1	140.8	148.2	152.4 Million
Ton-kms (Bulk)	on DFC	35.5	71.9	74.9	77.8	79.4 Billion
	on Feeder	45.1	78.2	83.6	88.6	91.4
TEU-kms (Container)	on DFC	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1 Billion
	on Feeder	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Ton-kms (Total)	on DFC	35.9	72.8	75.9	79.0	80.6 Billion
	on Feeder	45.8	78.9	84.3	89.5	92.3
Train-kms	on DFC	19.0	38.4	40.3	42.2	43.2 Million
	on Feeder	27.4	47.4	50.9	54.3	56.1

Western Corridor		Base Scenario (1TEU=12tonne)				
		2013	2018	2023	2028	2031
Ton (Bulk)		19.5	27.9	30.2	32.8	34.4 Million
TEU (Container)		1,516	3,554	5,502	7,516	8,831 '000
Total in Ton		37.7	70.6	96.2	123.0	140.4 Million
Ton-kms (Bulk)	on DFC	13.4	20.0	21.9	24.0	25.4 Billion
	on Feeder	16.7	20.1	21.5	23.1	24.2
TEU-kms (Container)	on DFC	1.3	4.1	6.0	7.9	9.1 Billion
	on Feeder	0.8	0.6	1.2	1.8	2.2
Ton-kms (Total)	on DFC	29.4	68.9	94.3	119.3	134.8 Billion
	on Feeder	26.8	27.6	35.5	44.7	51.1
Train-kms	on DFC	25.1	60.6	83.7	106.5	120.6 Million
	on Feeder	22.0	22.3	29.3	37.5	43.2

Road and Existing Rail		Base Scenario (1TEU=12tonne)				
		2013	2018	2023	2028	2031
Ton (Bulk)	on Existing Rail	483.9	494.1	561.9	636.6	683.8 Million
	on Road	0.2	1.2	3.6	10.2	17.2
TEU (Container)	on Existing Rail	832	740	982	1,205	1,338 '000
	on Road	252	84	258	478	644
Ton (Total)	on Existing Rail	493.9	503.0	573.7	651.0	699.9 Million
	on Road	3.3	2.2	6.7	16.0	24.9
Ton-kms (Bulk)	on Existing Rail	302.9	279.4	316.8	356.6	381.3 Billion
	on Road	0.3	1.3	4.1	11.3	18.1
TEU-kms (Container)	on Existing Rail	0.6	0.5	0.6	0.8	0.9 Billion
	on Road	0.3	0.1	0.2	0.4	0.5
Ton-kms (Total)	on Existing Rail	309.8	285.3	324.5	366.0	391.7 Billion
	on Road	4.4	2.1	6.7	16.0	24.5
Train-kms on Existing Rail		99.9	92.0	105.3	119.1	127.7 Million

出所：調査団による推計

#### 4.3.5 GDP 成長率が 5%であるケース

GDP 成長率は、基本ケースでは 7%を想定しているが、これが 5%である場合について推計した。この場合 25 年後の GDP は成長率 7%の場合の 6 割程度にとどまる。東回廊の石炭輸送については、石炭火力発電所の需要は変化しないと想定している。GDP 成長率の違いは、品目別成長率とコンテナの将来推計値に影響するが、これらの GDP に対する弾力性は非常に低い。適用した品目別成長率は、以下の通り。

Scenario	GDP	Coal	Steel	Iron Ore	Food-grain*	Fertilizer*	Cement
Base Scenario	7%	2.4%	3.06%	3.15%	2.29%	2.74%	3.84%
Lower GDP Growth Scenario	5%	2.0%	2.01%	2.06%	2.10%	2.54%	2.52%

備考: 両シナリオとも、POL=0% と Others=2%

\*: 穀類と肥料の需要予測モデルは、人口を説明変数としているため GDP 成長率の違いには関係ないが、シナリオの性格を反映させるため、推計値の 5/7 とした。

インド全体の海上コンテナの需要は、本シナリオでは以下の通りである。

Year	7%	5%
2006-07	5,437	5,437
2011-12	9,178 (11.0%)	9,093 (10.7%)
2016-17	14,651 (9.8%)	14,192 (9.3%)
2021-22	22,149 (8.6%)	20,800 (7.9%)
2026-27	31,729 (7.5%)	28,582 (6.6%)
2031-32	43,052 (6.3%)	36,796 (5.2%)

注: ( ) 内は、予測年度から過去 5 年間の年平均伸び率

結果的には、GDP 成長率が 5%である場合も、7%である場合と大きな違いはなく、2033-34 年の西回廊で 12%の違いがある程度である。

##### 【東回廊（DFC 成長率=5%）】

	2013-14	2023-24	2033-34	単位
TEU <sup>1</sup>	70	188	222	千 TEU
総トン数 <sup>2</sup>	68.0	136.9	145.8	百万トン
基本シナリオ比 <sup>3</sup>	0.99	0.97	0.96	

##### 【西回廊（DFC 成長率=5%）】

	2013-14	2023-24	2033-34	単位
TEU <sup>1</sup>	1,508	5,092	7,596	千 TEU
総トン数 <sup>2</sup>	37.4	90.5	124.1	百万トン
基本シナリオ比 <sup>3</sup>	0.99	0.94	0.88	

/1: 国内コンテナを含む (1 貨車=2 TEU), /2: コンテナを含む (1 TEU = 12 tonne)

/3: 当該シナリオの総トン数÷基本シナリオの総トン数

コンテナ TEU 数でもベースケースの 86%程度である。これはクロスカントリー分析のモデルから来る結果であるが、GDP がベースケースより 4 割低い時にコンテナが 1 割強低い程度という結果は、少し楽観的と考えられる。そこで、コンテナ需要も GDP と同程度低いと仮定して西回廊について試算した（次表）。この場合には開業後 10 年後で基本シナリオの 2 割減、20 年後で 3 割減となる。

【西回廊 (GDP 成長率=5%の修正ケース)】

	2013-14	2023-24	2033-34	単位
TEU <sup>1</sup>	1,442	4,032	5,613	千 TEU
総トン数 <sup>2</sup>	36.6	77.8	100.3	百万トン
基本ケース比 <sup>3</sup>	0.97	0.80	0.71	

<sup>1</sup>: 国内コンテナを含む (貨車 1 台=2 TEU で換算)      <sup>2</sup>: コンテナを含める (1TEU=12 トン)

<sup>3</sup>: 基本ケースの総トン数に対する当該ケースの総トン数の比

4.3.6 コンテナ輸送の鉄道分担率が低いシナリオ

DFC は西回廊におけるコンテナ輸送を大きく改善し、鉄道のシェアを増加させると予想され、Maharashtra と Gujarat の港における目標シェアは、現在の 25%に対し 35%になると想定している。しかしながら、この鉄道分担率を実現するには、いくつかのリスクがある。まず、DFC プロジェクトが遅れるか、在来線の改良がなされない場合である。次に、トラックの性能上向上により道路における走行速度が速くなるか、現在想定しているプロジェクト以外の道路プロジェクトが進行する場合である。第三に、必要な ICD が建設されないか、適切なインターモーダルシステムが確立されない場合である。これらの場合には、想定している鉄道分担率が達成できない可能性がある。このため、鉄道分担率についてリスク分析が必要であり、以下のようなシナリオを準備して需要推計を行った。

- 1) 基本ケース： 鉄道分担率が、モデルから計算される 35%に到達する場合
- 2) 中間ケース： 鉄道分担率の伸びが緩やかで、将来的に Maharashtra 州では 30%、Gujarat 州では 23%まで到達する場合
- 3) 一定ケース： 鉄道分担率が現状のままである場合
- 4) 減少ケース： 鉄道分担率が減少を続け、将来的に 5%まで落ち込む場合

上記各ケースについて、本調査で設定した年度別分担率は以下の通りである。

基本ケース

	2004-05	2011-12	2016-17	2021-22	2026-27	2031-32
Maharashtra	25%	27%	32%	35%	35%	35%
Gujarat	11%	15%	20%	35%	35%	35%

鉄道分担率一定ケース

	2004-05	2011-12	2016-17	2021-22	2026-27	2031-32
Maharashtra				25%		
Gujarat				11%		

中間ケース

	2004-05	2011-12	2016-17	2021-22	2026-27	2031-32
Maharashtra	25%	20%	22.5%	25%	27.5%	30.0%
Gujarat	11%	12%	15%	18%	20%	23%

注：建設期間中にシェアが減少する場合も考慮

鉄道分担率減少ケース (最終的に 5%)

	2004-05	2011-12	2016-17	2021-22	2026-27	2031-32
Maharashtra	25%	15%	12.5%	10%	7.5%	5%
Gujarat	11%	10%	8.8%	7.5%	6.3%	5%

下図は鉄道分担率のシナリオ別に、各港湾での鉄道による輸送量の推計値を示したものである。概ね、中間ケースは基本ケースの 75%、一定ケースは 50%となる。また、鉄道分担率が 5%まで落ち込む場合でも、コンテナ輸送量自体は微増である。

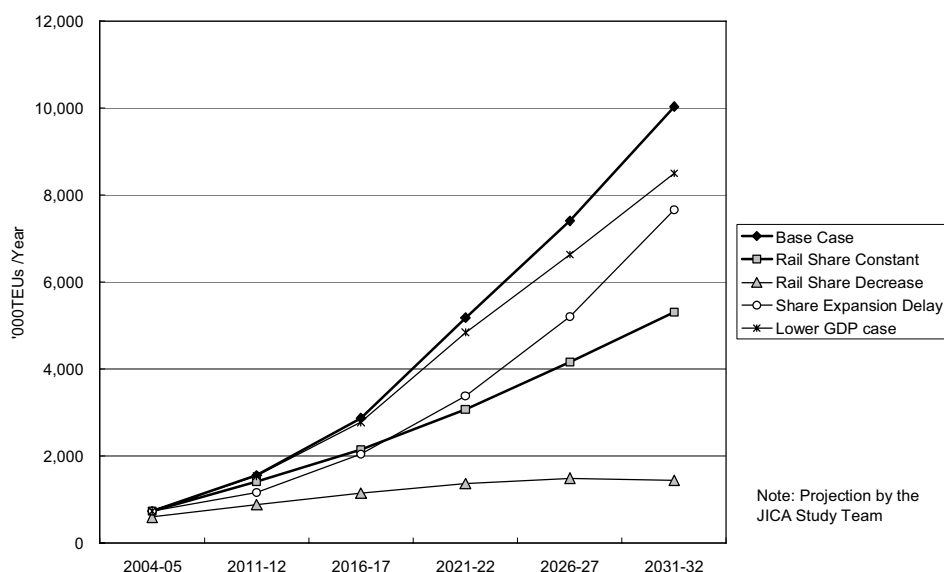


図 4-7 コンテナ交通量の推計(鉄道分担率が低いシナリオ)

西回廊の総トンキロを、各ケースについて推計すると下表のようになる(減少ケースについては、省略)。総トンベースで見ると、コンテナ以外の品目も含まれるため、中間ケースでは約 84%、一定ケースでは約 2/3 である。

	2013-14	2023-24	2033-34
基本ケース	37.7	96.2	140.4
シェア獲得が遅れるケース	35.0	75.9	116.3
鉄道分担率一定ケース	36.1	69.7	92.4

#### 4.3.7 GDP 成長率 5%で、鉄道分担率が一定であるケース

この場合には、下表のように計算された。この場合でも東回廊では影響が少ないが、西回廊では 2033-34 年にトンベースで約 6 割となる。

##### 【DFC 東回廊 (GDP 成長率=5%、鉄道分担率一定ケース)】

	2013-14	2023-24	2033-34	単位
TEU <sup>1</sup>	70	168	197	千 TEU
総トン数 <sup>2</sup>	68.0	136.7	145.5	百万トン
基本ケース比 <sup>3</sup>	0.99	0.97	0.95	

##### 【DFC 西回廊 (GDP 成長率=5%、鉄道分担率一定ケース)】

	2013-14	2023-24	2033-34	単位
TEU <sup>1</sup>	1,353	3,047	4,165	千 TEU
総トン数 <sup>2</sup>	35.6	66.0	83.0	百万トン
基本ケース比 <sup>3</sup>	0.94	0.69	0.59	

<sup>1</sup>: 国内コンテナを含む (貨車 1 台=2 TEU で換算)      <sup>2</sup>: コンテナを含める (1TEU = 12 トン)

<sup>3</sup>: 基本ケースの総トン数に対する当該ケースの総トン数の比



## 4.4 DFC の将来交通量

ここでは、東西両回廊が建設される場合の基本シナリオについて、区間別列車本数の計算結果を示す。

### 4.4.1 DFC 東回廊

東回廊の断面交通量は、表 4-16、表 4-17 に示す通りである。開業当初は一日片方向 50～60 列車であるが、開業 10 年後には 70～90 本、20 年後には 80～100 本になると予測される。Delhi 方面への交通の 7 割近くは石炭列車であり、反対方向ではその回送列車を含め、8 割近くが空荷の列車である。ただし、コンテナ列車以外は全て空荷で回送されると仮定して計算した値であり、実際の運用では空荷の列車本数は少ない。Khurja～Ludhiana 間は、開業 20 年後でも一日片方向 20～30 列車程度である。

### 4.4.2 DFC 西回廊

DFC 西回廊の断面交通量は、表 4-18 に示す通りである。Gujarat 州にある港湾から発着する海上コンテナのため、Palanpur～Delhi 間の列車本数は、Mumbai～Palanpur 間の倍近くになる。開業後 20 年には、コンテナ列車だけで片方向一日 140 列車となる。Palanpur～Phulera Jn.間では線路容量を超える 180 列車という推計結果となった。Gujarat 州とインド東部を結ぶ列車の多くが DFC を利用することになったため、同区間にコンテナ列車以外の列車が入り込んだためである。特に IFFCO (Indian Farmers Fertilizer Cooperative Limited) などの肥料輸送で 9 列車程度追加されている。その主なルートは DFC 西回廊の Palanpur～Phulera Jn.間を通過し、在来線を横切って Tundla より DFC 東回廊に入って、東部の目的地まで行くものである。DFC が存在する場合には非常に合理的なルートであるが、Phulera Jn.～Tundla 間で十分な線路容量がある事が前提となる。

### 4.4.3 Junction Station における交通量

フィーダー線と DFC 本線の間での将来交通量を、それぞれの Junction Station について推計した。全 Junction Station における計算結果は、Volume 4 Technical Working Paper Task2, 4 に要約している。下表は、主要な港と ICD (Ludhiana) について、交通量の推計値を要約したものである。

表 4-15 主要 Junction Station における交通量推計

(Unit: No. of Trains per day per direction)

Terminal ports of feeder line	Direction of Origin or Destination	Junction Station	2013-14	2018-19	2023-24	2028-29	2033-34
Mundra and Kandla	Delhi	Palanpur Jn.	12	19	32	49	63
Pipavav	Delhi	Sabarmati Jn.	1	3	8	12	13
Dhandari Kalan ICD	Mumbai	Rewari Jn	16	20	28	36	42

出所：調査団推計

表 4-16 DFC 東回廊(Dadri – Sonnagar 間)

Sonnagar → Mughal Sarai → Khurja → Dadri

From Sonnagar To Dadri		No. of Trains per Day				
Year	Section	Coal	Iron/Steel	Others	Empty	Total
2013-14	Sonnagar - Mughalsarai					
	Mughalsarai - Allahabad	33.3	3.6	2.7	16.5	56.2
	Allahabad – Kanpur	43.5	3.5	2.1	8.7	57.8
	Kanpur(PMPR)-Kanpur(BPU)	42.0	3.9	3.4	9.7	58.9
	Kanpur – Tundla	42.0	3.9	3.8	13.5	63.1
	Tundla - Aligarh	40.1	2.3	4.9	4.4	51.8
	Aligarh – Khurja	39.6	2.2	3.4	3.8	49.0
	Khurja – Dadri					
2018-19	Sonnagar - Mughalsarai	57.9	6.0	2.8	15.6	82.2
	Mughalsarai - Allahabad	42.9	5.8	3.3	21.2	73.2
	Allahabad – Kanpur	60.4	5.6	2.7	12.2	81.0
	Kanpur(PMPR)-Kanpur(BPU)	58.5	7.9	4.5	13.8	84.8
	Kanpur – Tundla	61.1	7.9	6.1	17.7	93.0
	Tundla - Aligarh	60.2	6.2	7.7	8.8	82.9
	Aligarh – Khurja	59.6	6.2	5.9	8.1	79.7
	Khurja – Dadri	33.1	2.2	3.9	5.7	44.9
2023-24	Sonnagar - Mughalsarai	60.1	6.1	3.0	17.3	86.5
	Mughalsarai - Allahabad	44.3	6.0	3.4	23.6	77.3
	Allahabad – Kanpur	61.5	5.8	2.8	13.0	83.2
	Kanpur(PMPR)-Kanpur(BPU)	59.6	8.4	5.3	14.7	87.9
	Kanpur – Tundla	62.5	8.4	7.4	18.8	97.0
	Tundla - Aligarh	61.4	6.7	9.2	9.8	86.9
	Aligarh – Khurja	60.7	6.7	7.1	9.0	83.4
	Khurja – Dadri	33.7	2.3	4.9	6.3	47.1
2028-29	Sonnagar - Mughalsarai	61.4	6.3	3.3	19.0	89.9
	Mughalsarai - Allahabad	45.3	6.1	3.7	26.1	81.1
	Allahabad – Kanpur	62.8	5.9	3.1	13.8	85.5
	Kanpur(PMPR)-Kanpur(BPU)	60.8	8.8	6.0	15.6	91.3
	Kanpur – Tundla	64.0	8.8	8.6	19.8	101.2
	Tundla - Aligarh	62.7	7.1	10.6	10.8	91.2
	Aligarh – Khurja	61.9	7.1	8.2	9.9	87.1
	Khurja – Dadri	34.5	2.4	5.7	6.9	49.5
2033-34	Sonnagar - Mughalsarai	62.1	6.4	3.4	19.8	91.6
	Mughalsarai - Allahabad	45.8	6.2	3.7	27.5	83.2
	Allahabad – Kanpur	63.5	6.0	3.3	14.1	86.8
	Kanpur(PMPR)-Kanpur(BPU)	61.5	9.1	6.5	16.0	93.1
	Kanpur – Tundla	64.9	9.1	9.4	20.4	103.5
	Tundla - Aligarh	63.4	7.4	11.4	11.3	93.5
	Aligarh – Khurja	62.6	7.3	9.0	10.3	89.2
	Khurja – Dadri	34.9	2.4	6.3	7.3	50.8

出所：調査団推計

Dadri → Khurja → Mugal Sarai → Sonnagar

From Dadri To Sonnagar		No. of Trains per Day				
Year	Section	Foodgrains	Fertilizer	Others	Empty	Total
2013-14	Sonnagar - Mughalsarai					
	Mughalsarai - Allahabad	2.5	1.9	12.8	39.2	56.5
	Allahabad – Kanpur	2.6	0.6	6.5	48.2	58.0
	Kanpur(PMPR)-Kanpur(BPU)	2.8	0.6	7.1	48.3	59.0
	Kanpur – Tundla	2.9	1.9	10.0	48.7	63.5
	Tundla - Aligarh	3.1	0.6	1.9	46.5	52.1
	Aligarh – Khurja	3.1		1.9	44.4	49.4
	Khurja – Dadri					
2018-19	Sonnagar - Mughalsarai	4.8	1.8	9.5	66.2	82.3
	Mughalsarai - Allahabad	5.1	2.2	14.7	51.5	73.5
	Allahabad – Kanpur	5.1	0.8	7.4	67.8	81.2
	Kanpur(PMPR)-Kanpur(BPU)	6.0	0.8	8.0	70.0	85.0
	Kanpur – Tundla	6.0	2.1	11.7	73.1	93.1
	Tundla - Aligarh	6.2	1.0	4.0	71.9	83.3
	Aligarh – Khurja	6.3	0.3	4.0	69.6	80.2
	Khurja – Dadri	3.2	0.8	4.0	37.5	45.5
2023-24	Sonnagar - Mughalsarai	5.4	2.0	10.6	68.7	86.7
	Mughalsarai - Allahabad	5.6	2.5	16.4	53.2	77.6
	Allahabad – Kanpur	5.7	0.9	7.6	69.1	83.4
	Kanpur(PMPR)-Kanpur(BPU)	6.7	0.9	8.2	72.3	88.2
	Kanpur – Tundla	6.7	2.3	12.3	75.6	97.1
	Tundla - Aligarh	7.0	1.1	4.7	74.5	87.3
	Aligarh – Khurja	7.0	0.3	4.6	71.8	83.8
	Khurja – Dadri	3.6	0.9	4.5	38.6	47.7
2028-29	Sonnagar - Mughalsarai	5.9	2.2	11.5	70.4	90.1
	Mughalsarai - Allahabad	6.2	2.8	18.0	54.4	81.5
	Allahabad – Kanpur	6.3	1.0	7.7	70.6	85.8
	Kanpur(PMPR)-Kanpur(BPU)	7.3	1.0	8.4	74.6	91.5
	Kanpur – Tundla	7.4	2.5	12.9	78.3	101.2
	Tundla - Aligarh	7.7	1.3	5.2	77.3	91.5
	Aligarh – Khurja	7.7	0.4	5.1	74.2	87.5
	Khurja – Dadri	4.0	1.0	5.0	39.9	50.1
2033-34	Sonnagar - Mughalsarai	6.1	2.3	12.0	71.3	91.8
	Mughalsarai - Allahabad	6.4	3.0	19.0	55.1	83.6
	Allahabad – Kanpur	6.5	1.0	7.9	71.5	87.0
	Kanpur(PMPR)-Kanpur(BPU)	7.7	1.0	8.7	76.0	93.3
	Kanpur – Tundla	7.8	2.6	13.2	79.9	103.5
	Tundla - Aligarh	8.1	1.4	5.4	79.0	93.9
	Aligarh – Khurja	8.1	0.4	5.4	75.6	89.6
	Khurja – Dadri	4.2	1.1	5.3	40.7	51.4

出所：調査団推計

表 4-17 DFC 東回廊(Khurja - Ludhiana 間)

From Khurja To Ludhiana		No. of Trains per Day				
Year	Section	Coal	Iron/Steel	Others	Empty	Total
2018-19	Khurja - Kalanaur	21.1	3.4	2.4	3.3	30.2
	Kalanaur - Rajpura	17.3	1.6	3.1	4.5	26.4
	Rajpura - Sirhind	5.3	2.6	6.2	11.3	25.3
	Sirhind - Ludhiana	5.3	2.6	6.2	11.3	25.3
2023-24	Khurja - Kalanaur	21.5	3.7	2.7	3.6	31.6
	Kalanaur - Rajpura	17.8	1.8	3.4	5.0	28.0
	Rajpura - Sirhind	5.6	2.8	6.8	12.5	27.8
	Sirhind - Ludhiana	5.6	2.8	6.8	12.5	27.8
2028-29	Khurja - Kalanaur	21.9	3.9	3.0	4.0	33.1
	Kalanaur - Rajpura	18.4	1.9	3.7	5.6	29.7
	Rajpura - Sirhind	5.9	3.0	7.6	13.6	30.1
	Sirhind - Ludhiana	5.9	3.0	7.6	13.6	30.1
2033-34	Khurja - Kalanaur	22.1	4.1	3.3	4.2	33.8
	Kalanaur - Rajpura	18.7	2.1	4.0	6.0	30.7
	Rajpura - Sirhind	6.0	3.2	7.9	14.1	31.2
	Sirhind - Ludhiana	6.0	3.2	7.9	14.1	31.2

From Ludhiana To Khurja		No. of Trains per Day				
Year	Section	Foodgrains	Fertilizer	Others	Empty	Total
2018-19	Khurja - Kalanaur	3.2		0.3	26.5	30.0
	Kalanaur - Rajpura	3.6		1.1	21.6	26.3
	Rajpura - Sirhind	10.8		1.4	13.2	25.4
	Sirhind - Ludhiana	10.8		1.4	13.2	25.4
2023-24	Khurja - Kalanaur	3.5		0.3	27.5	31.4
	Kalanaur - Rajpura	3.9		1.3	22.5	27.8
	Rajpura - Sirhind	12.0		1.6	14.3	27.9
	Sirhind - Ludhiana	12.0		1.6	14.3	27.9
2028-29	Khurja - Kalanaur	3.9		0.3	28.6	32.9
	Kalanaur - Rajpura	4.4		1.4	23.6	29.5
	Rajpura - Sirhind	13.1		1.7	15.4	30.2
	Sirhind - Ludhiana	13.1		1.7	15.4	30.2
2033-34	Khurja - Kalanaur	4.0		0.3	29.2	33.6
	Kalanaur - Rajpura	4.7		1.6	24.3	30.5
	Rajpura - Sirhind	13.5		1.7	16.1	31.3
	Sirhind - Ludhiana	13.5		1.7	16.1	31.3

出所：調査団推計

表 4-18 DFC 西回廊

JNPT → Delhi

From JNPT To Delhi		No. of Trains per Day				
Year	Section	Container	Fertilizer	Others	Empty	Total
2013-14	JNPT - Vasai Rd.					
	Vasai Rd. - Surat					
	Surat - Vadodara					
	Vadodara - Ahmedabad	21.4	1.4	1.4	7.5	31.7
	Ahmedabad - Palanpur	22.3	1.6	3.0	8.4	35.3
	Palanpur - Marwar	25.8	6.7	11.3	8.7	52.5
	Marwar - Phulera Jn	25.7	6.6	11.5	8.8	52.6
	Phulera Jn - Rewari	24.6	4.4	6.8	8.4	44.2
2018-19	JNPT - Vasai Rd.	41.1				41.1
	Vasai Rd. - Surat	43.2	0.4	2.3	12.9	58.8
	Surat - Vadodara	43.3	1.6	3.5	15.1	63.5
	Vadodara - Ahmedabad	40.9	1.8	2.8	12.5	58.0
	Ahmedabad - Palanpur	41.5	1.9	3.2	9.9	56.5
	Palanpur - Marwar	52.3	7.7	12.1	10.0	82.1
	Marwar - Phulera Jn	52.0	7.5	12.5	10.2	82.2
	Phulera Jn - Rewari	51.6	5.4	7.9	10.0	74.9
2023-24	JNPT - Vasai Rd.	56.1				56.1
	Vasai Rd. - Surat	58.3	0.5	2.5	14.1	75.4
	Surat - Vadodara	58.5	1.8	3.7	16.5	80.5
	Vadodara - Ahmedabad	55.3	2.1	2.9	13.6	73.9
	Ahmedabad - Palanpur	59.8	2.2	3.4	11.0	76.4
	Palanpur - Marwar	83.3	8.5	12.7	11.1	115.6
	Marwar - Phulera Jn	82.8	8.3	13.1	11.3	115.5
	Phulera Jn - Rewari	82.4	6.2	8.6	11.1	108.3
2028-29	JNPT - Vasai Rd.	68.4				68.4
	Vasai Rd. - Surat	70.8	0.6	2.6	15.5	89.5
	Surat - Vadodara	71.0	2.1	3.9	18.0	95.0
	Vadodara - Ahmedabad	67.1	2.3	3.2	14.9	87.5
	Ahmedabad - Palanpur	75.1	2.4	3.8	12.3	93.6
	Palanpur - Marwar	116.1	9.4	13.3	12.3	151.1
	Marwar - Phulera Jn	115.4	9.2	13.9	12.5	151.0
	Phulera Jn - Rewari	115.0	7.1	9.4	12.3	143.8
2033-34	JNPT - Vasai Rd.	75.0				75.0
	Vasai Rd. - Surat	77.5	0.6	2.6	16.5	97.2
	Surat - Vadodara	77.7	2.2	4.1	19.0	103.0
	Vadodara - Ahmedabad	73.5	2.5	3.2	15.8	95.0
	Ahmedabad - Palanpur	82.7	2.6	3.8	13.2	102.3
	Palanpur - Marwar	137.8	10.0	13.7	13.1	174.6
	Marwar - Phulera Jn	137.0	9.8	14.4	13.3	174.5
	Phulera Jn - Rewari	136.7	7.6	10.0	13.1	167.4
Rewari - Dadri	57.5	1.2	1.5	0.3	60.5	

出所：調査団推計

Delhi → JNPT

From Delhi To JNPT		No. of Trains per Day				
Year	Section	Container	Foodgrain	Others	Empty	Total
2013-14	JNPT - Vasai Rd.					
	Vasai Rd. - Surat					
	Surat - Vadodara					
	Vadodara - Ahmedabad	20.9	6.5	1.0	2.8	31.2
	Ahmedabad - Palanpur	21.8	7.1	1.3	4.7	34.9
	Palanpur - Marwar	25.2	7.6	1.0	18.1	51.9
	Marwar-Phulera Jn	24.9	7.8	1.0	18.2	51.9
	Phulera Jn - Rewari	23.5	7.8	0.6	11.2	43.1
2018-19	JNPT - Vasai Rd.	46.6				46.6
	Vasai Rd. - Surat	48.1	7.5	5.4	2.7	63.7
	Surat - Vadodara	48.1	7.8	7.3	5.1	68.3
	Vadodara - Ahmedabad	46.3	7.7	4.8	4.5	63.3
	Ahmedabad - Palanpur	44.3	8.4	1.6	5.1	59.4
	Palanpur - Marwar	54.3	9.0	1.1	19.8	84.2
	Marwar-Phulera Jn	53.3	9.2	1.0	20.0	83.5
	Phulera Jn - Rewari	52.1	9.2	0.8	13.4	75.5
Rewari - Dadri	25.5		0.2	2.1	27.8	
2023-24	JNPT - Vasai Rd.	63.4				63.4
	Vasai Rd. - Surat	65.0	8.4	5.7	2.9	82.0
	Surat - Vadodara	65.1	8.7	7.8	5.5	87.1
	Vadodara - Ahmedabad	62.6	8.6	5.0	5.0	81.2
	Ahmedabad - Palanpur	63.3	9.3	1.7	5.6	79.9
	Palanpur - Marwar	84.7	10.0	1.1	21.2	117.0
	Marwar-Phulera Jn	83.0	10.2	1.0	21.5	115.7
	Phulera Jn - Rewari	81.8	10.2	0.9	14.8	107.7
Rewari - Dadri	38.6	0.1	0.2	2.3	41.2	
2028-29	JNPT - Vasai Rd.	77.1				77.1
	Vasai Rd. - Surat	78.9	9.4	6.1	3.1	97.5
	Surat - Vadodara	79.0	9.7	8.3	6.0	103.0
	Vadodara - Ahmedabad	76.0	9.6	5.3	5.5	96.4
	Ahmedabad - Palanpur	79.1	10.4	2.0	6.1	97.6
	Palanpur - Marwar	116.2	11.2	1.1	22.7	151.2
	Marwar-Phulera Jn	113.9	11.5	1.0	23.1	149.5
	Phulera Jn - Rewari	112.7	11.5	0.8	16.5	141.5
Rewari - Dadri	52.0	0.1	0.1	2.6	54.8	
2033-34	JNPT - Vasai Rd.	84.5				84.5
	Vasai Rd. - Surat	86.3	10.0	6.5	3.2	106.0
	Surat - Vadodara	86.4	10.4	8.7	6.3	111.8
	Vadodara - Ahmedabad	83.2	10.3	5.4	5.8	104.7
	Ahmedabad - Palanpur	87.0	11.1	2.1	6.5	106.7
	Palanpur - Marwar	136.8	11.9	1.2	23.7	173.6
	Marwar-Phulera Jn	134.2	12.2	1.1	24.2	171.7
	Phulera Jn - Rewari	133.1	12.2	0.9	17.5	163.7
Rewari - Dadri	60.7	0.1	0.1	2.7	63.6	

出所：調査団推計

## 第 5 章 基本的技術オプションの比較検討

---

## 第5章 基本的技術オプションの比較検討

### 5.1 コンテナ輸送方式の比較検討

コンテナ輸送方式について、1段積コンテナ (Single Stacked Container : SSC)、フラット貨車による2段積コンテナ (Double Stacked Container : DSC) およびウェル貨車による DSC の3つについて比較検討し、輸送需要から DSC が必要となること、輸送コストから DSC はフラットとウェルに大差がないこと、列車の走行安定性からウェルが優れていること、電化線区での DSC に問題がないことを示した。

#### 5.1.1 DSC に係る最大車両移動寸法

車両限界から計算される最大車両移動寸法 (Maximum Moving Dimension : MMD) は、インド国鉄技術研究所 (Reserch Designs and Standards Organization : RDSO) による計算結果を図 5-1 に、調査団の検討結果についてウェル貨車 DSC を図 5-2 に、フラット貨車 DSC を図 5-3 に示す。MMD については、PETS-II では高さ 6.8m、幅 4.725m として、Railway Board で検討中と記述しており、最終的寸法を提示していない。調査団はフラット貨車 DSC の高さ 6.83m、ウェル貨車 DSC の高さ 6.23m とし、以後の検討に使用した。フラット貨車 DSC では、車輪径 840mm、床面高さ 1,000mm を想定している。ウェル DSC では車輪径 1,000mm、床面高さ 1,270mm でも実現可能である。

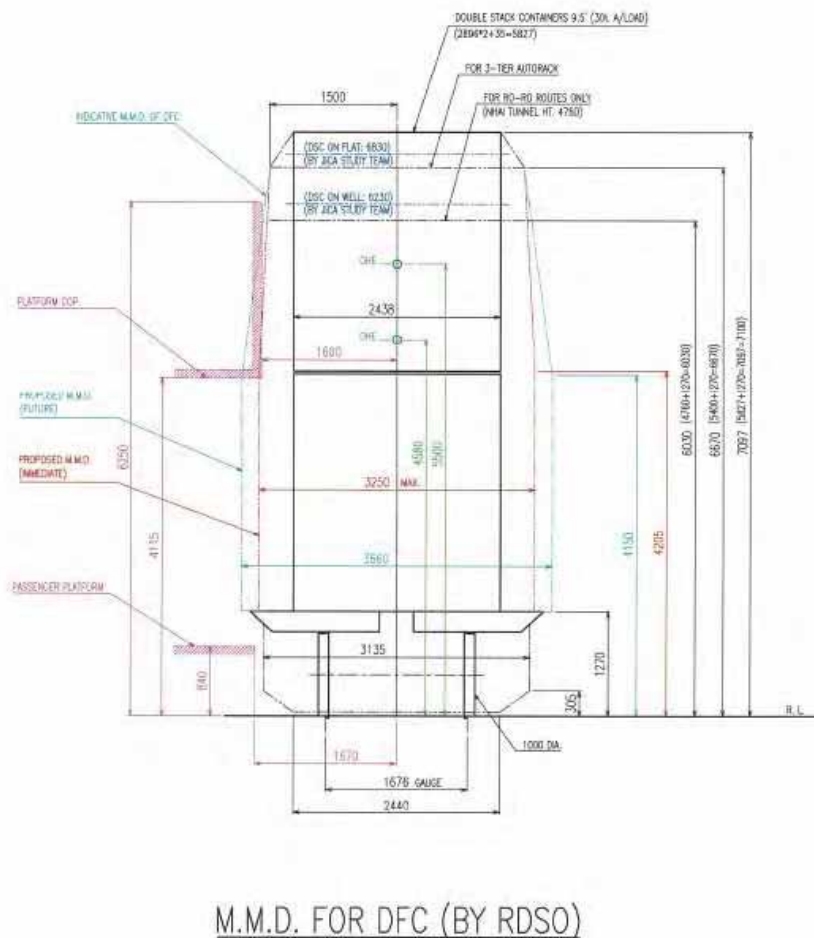
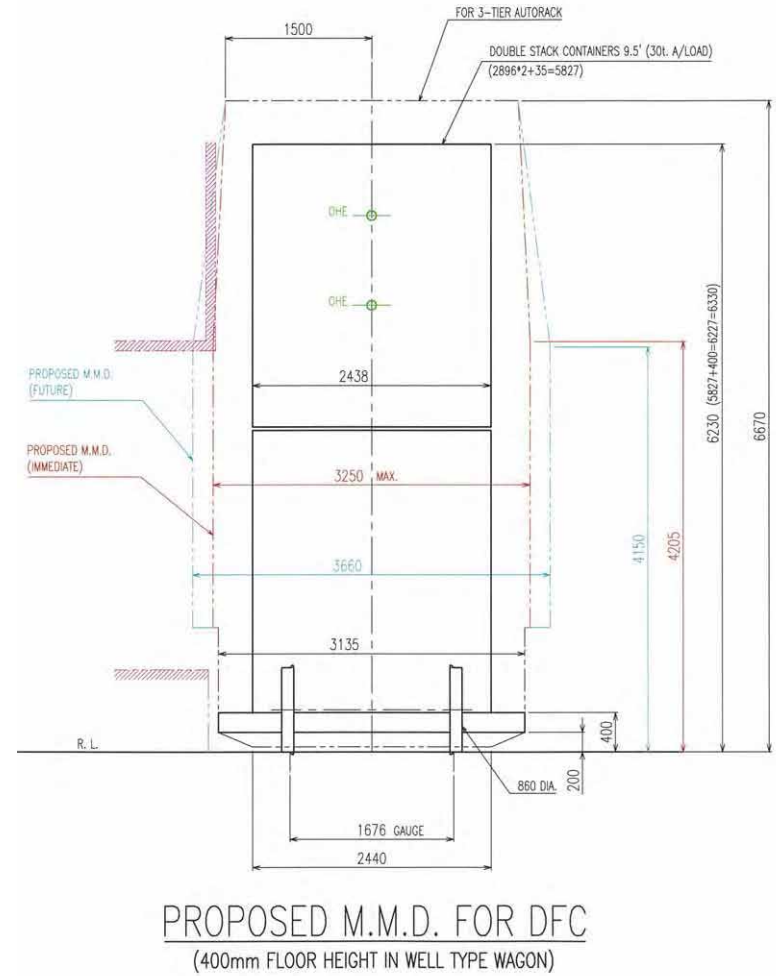


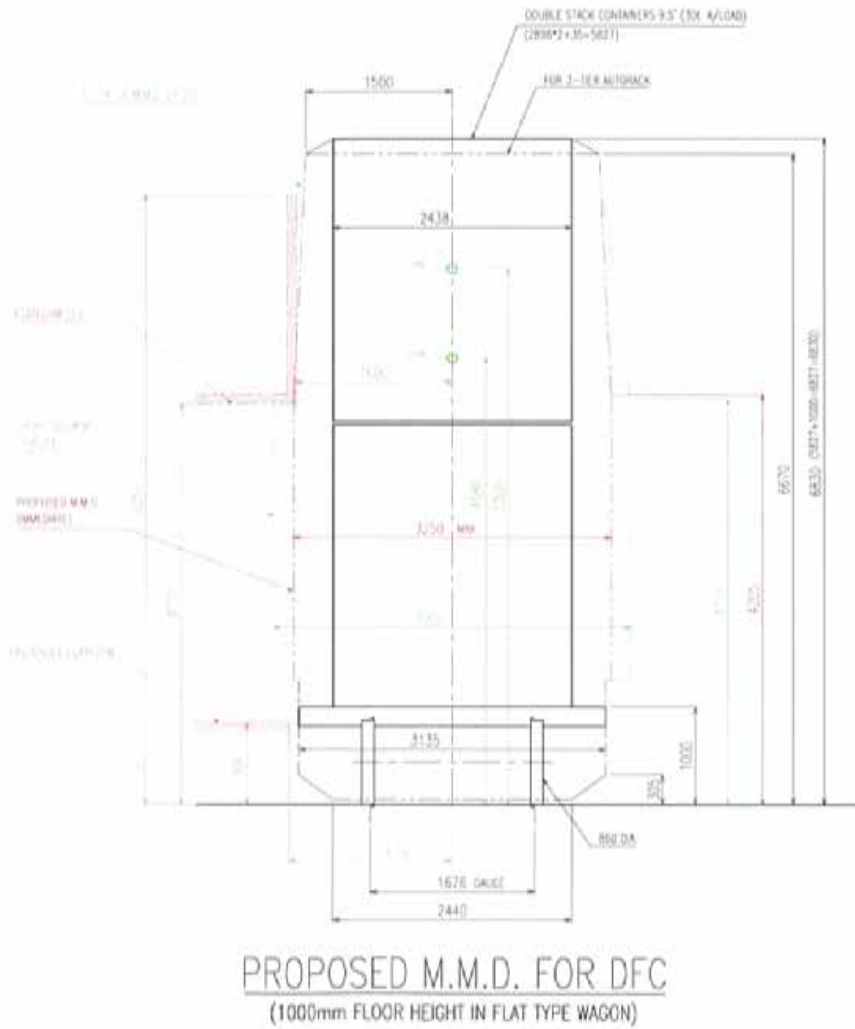
図 5-1 RDSO による MMD





出典:調査団

図 5-2 ウェル貨車 DSC の MMD



出典:調査団

図 5-3 フラット貨車 DSC の MMD

### 5.1.2 中国の DSC 列車事例調査

中国鉄道では 2 年間に渡る試験走行の後、2007 年 4 月 18 日から北京、上海ほか 1 区間で DSC 列車の営業運転を開始した。調査団では 4 月下旬現地に赴き、実態を調査した。その中で判明した中国での DSC 列車実用化に向けての方針を紹介する。

#### (1) コンテナ輸送方式と牽引方式

中国における主要幹線は電化の方針（交流 25kV）であり、コンテナ輸送も主要幹線で増加すると考えられるので、DSC は電化区間を走行できるよう計画されている。中国とインドの電化区間の比較を表 5-1 に示す。

表 5-1 中国とインドの電化区間の比率

項目	中国	インド
電化率	29.2%	27.0%
輸送 ton-km に占める電化区間の比率	52.8%	63.0%

(出典:IR 統計年報と中国での聞き取り調査による)

既存電化区間における DSC 走行の支障となるのは ROB などの構造物である。これら既存設備の改修をできるだけ少なくするため、車高の低いウェルタイプでの DSC を採用し、搭載コンテナも当面 8ft（下段）と 8<sup>1/2</sup>ft（上段）とし、電車線高さを 5.7m として、既存線の改修費を最小限としている。その結果、北京-上海間 1,318km における既存線改修費はおよそ 300 百万ドルに抑えられた。将来は、8<sup>1/2</sup>ft（下段）と 9<sup>1/2</sup>ft（上段）コンテナとする計画である。この場合の電車線高さは 6.33m となる。

9<sup>1/2</sup>ft コンテナの 2 段積みも考えられるが、既存線改修工事費を抑制する観点から、8<sup>1/2</sup>ft と 9<sup>1/2</sup>ft コンテナ搭載とすることとした。また、20ft コンテナ（高さ 8<sup>1/2</sup>ft）は重量物積載に多く用いられ、40ft 以上のコンテナ（高さ 9<sup>1/2</sup>ft）は比重量の小さい貨物積載に用いられることから、20ft コンテナを下段に搭載することにより重心高さを低くすることが期待できる。

中国鉄道の 1 段積みコンテナ列車は 50 両編成（1 両 2TEU 搭載）であるが、ウェルタイプ・コンテナ列車は 38 両編成（1 両 4TEU 搭載）となっている。なお、軸重の制約から米国のような連節構造は採用していない。

交流 25kV 電化であり、安全上の観点から、コンテナ荷役は架線のない側線に移動させて行っている。

#### (2) 走行安定性と重心高さ

重心が高くなると、直線部でのローリング、曲線部での遠心力により、速度制限を行う必要となる。インド鉄道でのフラット貨車による DSC 試験でも、走行速度を 75km/h に制限するとの結果が出ている。

ウェルタイプの最高運転速度については、米国で 70mph（112km/h）、中国で 120km/h となっている。中国鉄道では、DSC 導入前に重心高さについて検討を行っている。中国鉄道の規定では貨車の重心高さは 2.0m 以内であるが、比較的重心の低いウェルタイプの貨

車でも 2.2m となるので、2 年間の試験走行を行って安全性を検証している。これは前項のコンテナ積載方法にも反映されている。また、将来の DSC 営業線区選定にあたっては、強風地区は対象から外している。

ウェルタイプ貨車の写真を以下に示す。



写真 5-1 荷役中のウェルタイプ貨車(北京)



写真 5-2 ウェルタイプ貨車の内部構造(上海)

### 5.1.3 SSC/DSC のコスト・ベネフィット分析

PETS-II においては、以下の 2 点を理由としてフラット貨車による DSC 列車運転の採用が検討されている。

- 輸送力を最大限確保する。
- 列車 1 本あたりのコストを半減する。

しかし、DSC 導入による便益の増加面だけでなく、下記のような費用面の増加にも留意する必要がある。

- 1) DFC は新規建設路線である。DSC 列車運転を実施する場合、ROB の高さを高くする等の必要があるため、建設費が増加する。経済的合理性を伴う投資であるか否かを検討する必要がある。
- 2) 貨物列車は在来線への直通運転が行われる。DSC 列車を在来線に直通するとなれば、在来線についても、ROB 等の改修が必要となり、その費用は DSC 導入に必要な初期投資となる。
- 3) コンテナ列車を DSC 列車化して列車運転本数を減らせば、建設費などのコストを少ない列車本数で負担することになる。このため、DSC 列車 1 列車あたりの運転コストは SSC 列車より上昇する傾向となる。

以上の観点からコンテナ積載方式、貨車構造および動力方式の組み合わせについて、いずれが経済的優位性を有するかについて検証するため、表 5-2 に示す 5 ケースについてコスト分析を実施した。なお、各ケースの比較対象となるベース・ケースは、最も初期投資額の少ない SSC（ディーゼル運転）とした。

**表 5-2 コンテナ輸送方式に関するコスト分析対象ケース**

No.	コンテナ積載方式	貨車構造	動力方式	牽引貨車数	輸送能力 (TEUs/train)
Base Case	SSC	フラット	ディーゼル	45	90
Case 1	SSC	フラット	電気	45	90
Case 2	DSC	ウェル	ディーゼル	32	128
Case 3	DSC	フラット	ディーゼル	45	180
Case 4	DSC	ウェル	電気	32	128
Case 5	DSC	フラット	電気	45	180

本分析で対象とした費用項目は以下の通りである。

- 1) 資本費
  - 車両調達費（機関車、貨車）
  - 電気運転設備建設費
  - ROB（道路跨線橋）架け替え費用

- 2) 運転・維持管理費
  - 車両保守費
  - 電気設備保守費
  - 乗務員等人件費

- 3) 動力費

上記のほか、線路容量の関係から SSC では運びきれない輸送需要に応じた運賃収入（0.67 Rs./ton/km）を、DSC の便益として算入した。

開業年次、評価期間、在来線へ乗り入れるコンテナ列車の輸送方式とその割合については、前節（電化/非電化の検討）と同様に以下のとおりとした。

- 開業年次＝2013/2014 年
- 評価期間＝26 年間（建設期間 5 年間を含む）
- 在来線乗り入れ列車＝SSC、30%

**(1) 列車あたり機関車数と車両想定価格**

輸送方式別の列車あたり機関車両数と想定価格を表 5-3 に、貨車数と想定価格を表 5-4 に示す。なお、バルク用貨車については、全ケース共通であるため、本検討からは除外した。既存の機関車の他に、電気機関車 6 軸 7,200Hp、6 軸 9,000Hp および 8 軸 12,000Hp、ディーゼル機関車 5,000Hp を想定しているが、いずれも日本および欧米の機関車を参考に、気候条件の差異を加味して定格容量を設定している。機関車仕様の詳細については Volume 3 第 7 章 9 項 車両を参照のこと。

**表 5-3 列車あたり機関車両数と想定価格**

	コンテナ貨物			バルク貨物
	SSC	DSC		
		ウェルタイプ	フラットタイプ	
<b>電気運転</b>				
列車あたり機関車数	6軸×1両 (6,000HP)	6軸×1両 (7,200HP)	6軸×1両 (9,000HP)	8軸×1両 (12,000HP)
想定価格	Rs.10.5 Crore (約 2.7 億円)	Rs.13.0 Crore (約 3.3 億円)	Rs.14.5 Crore (約 3.7 億円)	Rs.21.2 Crore (約 5.5 億円)
<b>ディーゼル運転</b>				
列車あたり機関車数	6軸×1両 (4,000HP)	6軸×1両 (5,000HP)	6軸×2両 (5,000HP)	6軸×2両 (5,000HP×2)
想定価格	Rs.10.6 Crore (約 2.7 億円)	Rs.13.0 Crore (約 3.3 億円)	Rs.26.0 Crore (約 6.6 億円)	Rs.26.0 Crore (約 6.6 億円)

出典:調査団

注) 1 Crore=1千万

**表 5-4 列車あたりコンテナ貨車数と想定価格**

	SSC	DSC	
		ウェルタイプ	フラットタイプ
列車あたり機関車数	45両	32両	45両
想定価格	Rs.0.18 Crore	Rs.0.26 Crore	Rs.0.20 Crore

出典:調査団

注) 1 Crore=1千万

**(2) 輸送需要と車両数**

輸送需要と機関車両数の算出に当たっては、以下の前提で列車を運行するものとした。

- 1) DFC 線区内に OD の両方を持つコンテナ列車については、以下の 2 つのオプションについて分析を行った。
  - a) DFC 線内発着コンテナ列車はすべてを DSC 列車として運転する(オプション 1)
  - b) 可能な限り SSC による運行を行う。列車本数が線路容量 (140 本/日/方向) に達した場合に限り、DSC を適用する。(オプション 2)
- 2) バルク貨物列車と在来線直通コンテナ列車 (SSC) は輸送需要を満たす列車本数を確保する。

各計画における機関車両数については、第 6 章 輸送計画に示した方法を基に算定した。この場合、列車の最高速度は、フラットタイプ DSC 75km/h、その他の列車 100km/h とし、表定速度はその 70%として車両数を算出した。2013/14, 2018/19, 2023/24, 2028/29 および 2031/32 年の輸送量および車両数を表 5-5(1)-表 5-5(3)に示す。

表 5-5 (1) 西回廊における将来輸送需要及び必要なバルク列車及び SSC 列車本数

Year	Traffic Demand on Western Corridor				SSC run through to the feeder line	
	Bulk Cargo		Container		Traffic Volume (Million. TEU-km)	Number of Train per direction (nos.)
	Traffic Volume (Million. Ton-km)	Number of Train per direction (nos.)	Traffic Volume (Million TEU-km)	Number of Train per direction (Equivalent to SSC trains)		
2013/14	13,351	23	1,335	26	401	8
2018/19	20,029	32	4,074	60	1,222	18
2023/24	21,903	35	6,037	93	1,811	28
2028/29	24,036	38	7,940	127	2,382	38
2033/34	25,397	40	9,120	149	2,736	45

出典: 調査団

表 5-5 (2) 西回廊 DFC における輸送量および機関車両数(オプション 1)

Year			Bulk traffic demand (Excluding feeder connecting train)	Base case Case 1	Well-type Case 2 and Case 4		Flat-type Case 3 and Case 5	
				SSC	SSC	DSC	SSC	DSC
2013/14	Traffic volume		13,351 Mil. T-km	1,335 Mil. TEU-km				
	Nos.of loco	Electric	37	49	15	23	15	21
		Diesel	74	49	15	23	15	21
2018/19	Traffic volume		20,029 Mil. T-km	4,074 Mil. TEU-km				
	Nos.of loco	Electric	55	134	41	63	41	58
		Diesel	110	134	41	63	41	58
2023/24	Traffic volume		21,903 Mil. T-km	6,037 Mil. TEU-km				
	Nos.of loco	Electric	59	202	61	94	61	87
		Diesel	118	202	61	94	61	87
2028/29	Traffic volume		24,036 Mil. T-km	7,940 Mil. TEU-km				
	Nos.of loco	Electric	64	268	84	129	84	119
		Diesel	128	268	84	129	84	119
2033/34	Traffic volume		25,397 Mil. T-km	9,120 Mil. TEU-km				
	Nos.of loco	Electric	68	268	94	145	94	133
		Diesel	136	268	94	145	94	133

出典: 調査団

表 5-5 (3) 西回廊 DFC における輸送量および機関車両数(オプション 2)

Year			Bulk traffic demand (Excluding feeder connecting train)	Base case	Well-type		Flat-type	
				Case 1	Case 2 and Case 4		Case 3 and Case 5	
				SSC	SSC	DSC	SSC	DSC
2013/14	Traffic volume		13,351 Mil. T-km	1,335 Mil. TEU-km				
	Nos.of loco	Electric	37	49	49	0	49	0
		Diesel	74	49	49	0	49	0
2018/19	Traffic volume		20,029 Mil. T-km	4,074 Mil. TEU-km				
	Nos.of loco	Electric	55	134	134	0	134	0
		Diesel	110	134	134	0	134	0
2023/24	Traffic volume		21,903 Mil. T-km	6,037 Mil. TEU-km				
	Nos.of loco	Electric	59	202	202	0	202	0
		Diesel	118	202	202	0	202	0
2028/29	Traffic volume		24,036 Mil. T-km	7,940 Mil. TEU-km				
	Nos.of loco	Electric	64	268	192	51	218	32
		Diesel	128	268	192	51	218	32
2033/34	Traffic volume		25,397 Mil. T-km	9,120 Mil. TEU-km				
	Nos.of loco	Electric	68	268	94	154	94	133
		Diesel	136	268	94	154	94	133

出典:調査団

### (3) 電気運転設備建設費

東回廊に対する RITES レポートによれば、キロ当たりの電化費用は 0.50 Crore Rs.となる。しかし、ここには変電所建設費用が含まれないため、既存路線が非電化となっている Ahmedabad-Dadri 区間については、変電所の建設費を見込む必要がある。

表 5-6 にこれを含む西回廊の電化費用を示す。電化システムは 2×25KV AT を想定し、Ahmedabad-Dadri 間には 50km ごとに変電所を建設することとした。

電気運転設備の維持管理費は、毎年、建設費の 2%を見込むと共に、10 年ごとに建設費の 10%を大規模改修費として見込んだ。

表 5-6 西回廊電化費用

(Unit: Crore Rs.)			
	Unit cost	Quantity	Total cost
Electrification cost	0.55	2,936 Tkm	1,610.31
Including Substations	13.38	31	414.92

出典:RITES レポート

注) 1Crore Rs.=1 千万

### (4) ROB 架け替え費用

各ケースについて、必要な空頭と計 529 橋の総架け替え費用について、表 5-7 のとおり算定した。下表に示す費用には、将来 MOR によって実施されるものを含む、全 ROB に対する架け替え費用が含まれる。

**表 5-7 ROB 架け替え費用**

	コンテナ 積載方式	貨車構造	動力方式	空頭 (m)	総架け替え費用 (百万 Rs.)
Base Case	SSC	フラット	ディーゼル	10.10	3,411.7
Case 1	SSC	フラット	電気	10.46	3,574.1
Case 2	DSC	ウェル	ディーゼル	11.39	4,026.6
Case 3	DSC	フラット	ディーゼル	11.99	4,287.9
Case 4	DSC	ウェル	電気	11.75	4,194.9
Case 5	DSC	フラット	電気	12.35	4,485.5

出典: 調査団

**(5) 運転維持管理費**

機関車保守費は、インド国鉄の統計より表 5-8 に示すとおり設定した。電気機関車の保守費 7.18Rs./1000GT km は、ディーゼル機関車と比較して 55%小さくなっている。

乗務員等の人件費についても、同様にインド国鉄統計より 716Rs./100Train-km とした。

**表 5-8 運転維持管理費**

(Unit: Rupees per 1,000 GT. km)

		Running Repairs in Sheds	Running Repairs in Workshop for Sheds	POH, IOH & Special Repairs*	Other Repairs*	Total
Diesel electric loco	Central	4.35	0.48	10.03	3.07	17.93
	Western	16.25	0.47	7.07	0.05	23.84
	North Western	0.97	0.08	0.96	0.00	2.01
	Northern	7.07	0.23	5.87	0.00	13.17
	Distance weighted average of each Zonal Railway					
Electric loco	Central	6.43	0.45	3.59		10.47
	Western	4.65	0.02	0.95		5.62
	North Western	NA	NA	NA		NA
	Northern	7.80	0.01	4.65		12.46
	Distance weighted average of each Zonal Railway					

出典: Annual Statistic Statements 2004-05

POH: Periodical Overhaul, IOH: Intermediate Overhaul

\*Cost of POH, IOH, special repairs and other repairs include diesel-hydraulic locomotives

**(6) 動力費**

電気運転およびディーゼル運転の動力費については、インド国鉄統計より表 5-9 の通り設定した。



表 5-9 動力費

		Consumption per 1,000 GT km Litre or kWh*	Unit price Rs./litre or kWh**	Energy Cost Rs./ 1000GT km
Diesel electric loco	Central	3.03	28.42	86.11
	Western	2.57	28.67	73.68
	North Western	2.12	25.12	53.52
	Northern	2.10	22.33	46.89
	Distance weighted average of each ZR***			
Electric loco	Central	8.52	4.04	34.42
	Western	7.49	4.73	35.43
	North Western	NA	NA	NA
	Northern	5.70	4.20	23.94
	Distance weighted average of each ZR			

Source: Annual Statistic Statements 2004-05

\* Column 18 in Table 27(B), GT kms: Gross Tonne kilometres

\*\* Column 68 and 74 of Table 27(A)

\*\*\*CR: 70 km JNPT/Vasai Rd., WR: 600km Vasai Rd./Palanpur, NWR: 633 km Palanpur/Rewari, NR: 133 km Rewari/Dadri

## (7) コスト分析

以上に示した諸元によりコスト/ベネフィット (B/C) 分析を行った結果、表 5-10 に示すように内部収益率 (Internal Rate of Return : IRR) を除く指標については、ケース 4 (ウェルタイプ貨車による DSC/電気運転) が、最も良好な値を示した。IRR については、ケース 1 (SSC/電気運転) が最も良好な数値を示した。また、IRR の順位は以下のとおりとなった。

Case 1 > Case4 > Case5 > Case2 > Case3

オプション 2 については、全てのケースにおいてオプション 1 と比較して指標が悪化している。詳細については、Volume 4 Technical Working Paper Task2, 5-(3)に示す。

表 5-10 コスト分析結果

		SSC/DSC	Wagon type	Traction	IRR	NPV (D/R=12%)	B/C (D/R=12%)
-	Case 1	SSC	Flat	Electric	22.61%	857.2 Crore Rs.	1.73
Option 1	Case 2	DSC	Well	Diesel	18.38%	192.8 Crore Rs.	1.57
	Case 3	DSC	Flat	Diesel	17.75%	209.2 Crore Rs.	1.50
	Case 4	DSC	Well	Electric	19.47%	882.3 Crore Rs.	2.54
	Case 5	DSC	Flat	Electric	18.46%	819.0 Crore Rs.	1.46
	Option 2	Case 2	DSC	Well	Diesel	3.14%	-266.6 Crore Rs.
Case 3		DSC	Flat	Diesel	1.93%	-361.2 Crore Rs.	0.23
Case 4		DSC	Well	Electric	16.80%	574.3 Crore Rs.	1.38
Case 5		DSC	Flat	Electric	15.57%	453.73 Crore Rs.	1.25

出典:調査団

1 Crore = 1 千万

## (8) 単位あたりの輸送コスト

前項から電気牽引がディーゼル牽引に比べ経済的に有利であることから、列車本数がある程度落ち着いた 2023/24 年時点の電気牽引による SSC、DSC (フラット、ウェルタイプ) について、前記の各要素の単価のほかに車両の減価償却費、貨車保守費および電気設備保

守費を用いて、コンテナの TEU-km 当りの輸送単価を試算した。計算の詳細は *Volume 4 Technical Working Paper Task2, 5-(8)* に示す。

以上による計算結果を表 5-11 に示す。DSC のよるコスト低減効果は現れているが、SSC の半分ではなく、フラットで 74.3%、ウェルで 75.9% となった。これは総需要が一定であるとの前提から、設備費と保守費はほとんど変わらず、エネルギーコストも空車重量分を無視できないので、ベース消費量が発生しているためである。

**表 5-11 単位輸送コスト(2023/24 年)**

Items		SSC	DSC-well	DSC-flat	
Depreciation cost	Electric Locomotive	0.098	0.090	0.083	
	Wagon	0.185	0.134	0.103	
	ROB	0.096	0.046	0.064	
	Electric facility	0.048	0.048	0.048	
	Subtotal	0.427	0.318	0.298	
O&M cost	Energy cost	0.767	0.595	0.584	
	Maintenance cost	Electric locomotive	0.165	0.128	0.126
		Wagon	0.146	0.073	0.073
		Electric facility	0.061	0.061	0.061
	Personnel cost	0.513	0.407	0.402	
Subtotal	1.652	1.261	1.246		
Total		2.079 (100%)	1.579 (75.9%)	1.544 (74.3%)	

出典：調査団

#### 5.1.4 DSC 列車運転と推奨事項

##### (1) DSC にかかる実証済み技術

DSC については、表 5-12 に示すように、米国、オーストラリア、中国等で採用され、多くの列車が安全に運行されている。中国は電気機関車牽引であり、米国東海岸では交流電化区間をディーゼル機関車牽引で走行している。いずれもウェルタイプの DSC であり、車両の最大高さや電車線の間隔を確保することにより、電車線とコンテナ間に電気的問題は生じていない。

フラット貨車による DSC はインドにおける短期間の試験のみであり、現時点では実証済みとはいえない。

したがって、フラット貨車での DSC を採用するには、様々なコンテナ積載条件、気象条件の下で走行安定性、車両動揺について長期間の検証を行う必要があるといえる。

**表 5-12 DSC と動力方式**

コンテナ積載方式	ディーゼル	電化	注記
ウェルタイプ	米国、オーストラリアにて 実証済み 最高速度=112km/h	中国にて実証済み 最高速度=120km/h	1980 年代後半から運行 が開始され、多くの実証 例、貨車のデザインを含 む確立された技術が存在 する。
フラットタイプ	未実証(インドにおける試 験走行のみ) 最高速度=75km/h	未実証	営業運転の実例が存在 しない。 走行安定性、積載条件、 風に対する条件などに ついて詳細な実験が必要。

**(2) 安全性**

1) 重心高さと曲線走行速度制限

フラット貨車 DSC、ウェル貨車 DSC についてコンテナ積載条件を変えて重心高さ、DFC の最小曲線半径である半径 700m の曲線走行速度制限を計算した結果を表 5-13(1) - 表 5-13(3)に示す。重心高さの規制値は試験データなしで決めることはできない。しかしながら、フラットでもウェルでも Case-2 は避けるべきである。

**表 5-13 (1) 9<sup>1/2</sup>ft +8<sup>1/2</sup>ft(フラット貨車 DSC)における重心高さ**

	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4
上段コンテナ	40 ft(空コン)	40 ft	40 ft(空コン)	40 ft
下段コンテナ	40 ft(空コン)	40 ft(空コン)	40 ft	40 ft
重心高さ(mm)	2,856	4,007	1,558	2,755
半径 700m 曲線における 速度制限 (km/h)	86	73	117	88

**表 5-13 (2) 9<sup>1/2</sup>ft +8<sup>1/2</sup>ft(ウェル貨車 DSC)における重心高さ**

	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4
上段コンテナ	40 ft(空コン)	40 ft	40 ft(空コン)	40 ft
下段コンテナ	40 ft(空コン)	40 ft(空コン)	40 ft	40 ft
重心高さ(mm)	2,314	3,419	1,281	2,364
半径 700m 曲線における 速度制限 (km/h)	96	79	129	95

**表 5-13 (3) Heights of gravity centre for 9<sup>1/2</sup>ft +8<sup>1/2</sup>ft on flat**

	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4
上段コンテナ	40 ft(空コン)	40 ft	40 ft(空コン)	40 ft
下段コンテナ	Empty 20 ft x2	20 ft x2(空コン)	20ft x2	20 ft x2
重心高さ(mm)	1,802	3,228	2,082	2,832
半径 700m 曲線における 速度制限 (km/h)	109	81	101	87

2) DSC の横風安定性検討

DSC の積載方式 (フラットタイプとウェルタイプ) の違いによる、横風安定性についての概略検討を実施した。

a) DSC の積載方式による諸元

積載コンテナの高さは、コンテナサイズが 2 種類あることから、 $9^{1/2}$  フィート +  $8^{1/2}$  フィートと  $9^{1/2}$  フィート 2 段積み の 2 ケースを考慮し、安定性の概略検討を実施した。

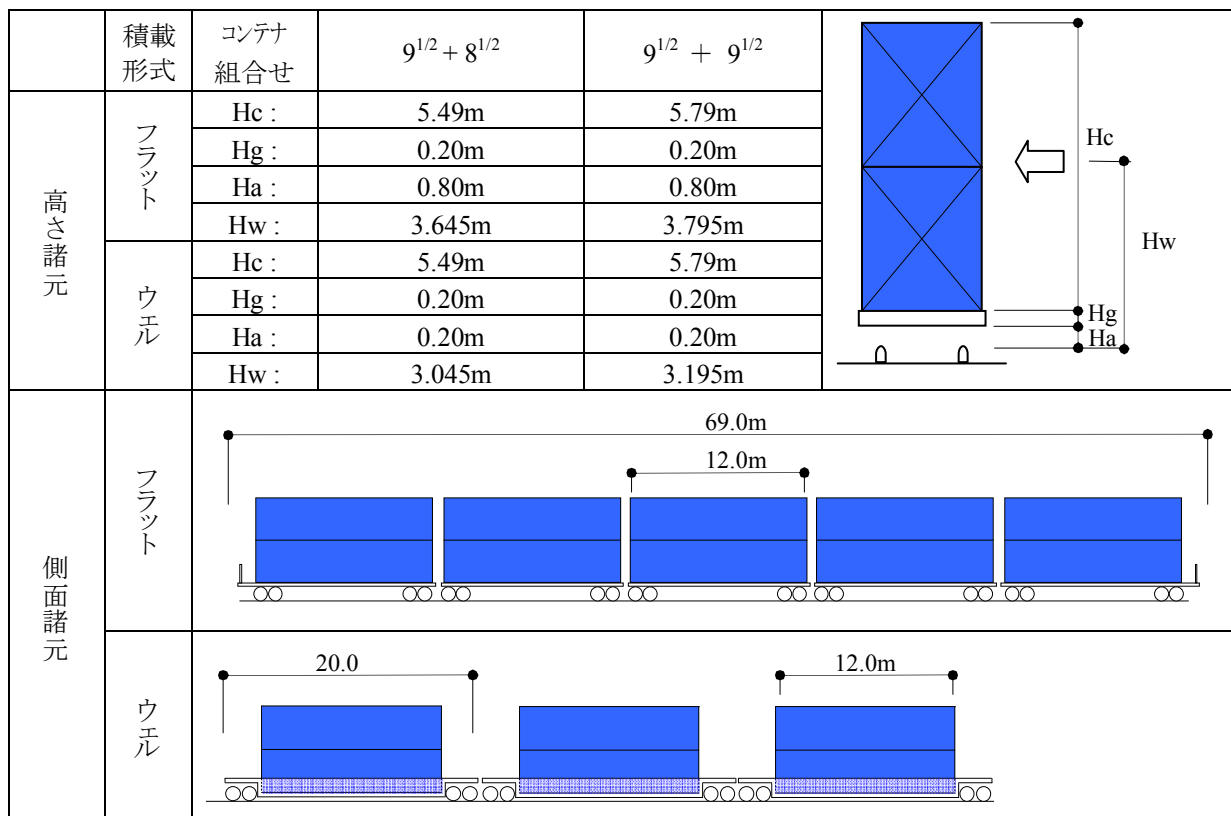


図 5-4 DSC 積載形式による諸元

b) 概略計算結果

前述諸元で示す各積載形式と積載貨物形状の他に、これまでの実績から横風荷重に関する Data を持つスタンダードゲージと今回案件で採用されるブロードゲージを考慮して、全 8 ケースについて、実施した概略計算結果を次表に示す。

表 5-14 積載形式・ゲージ別転倒モーメント増加率

ケース	①	②	③	④	備考	
積載形式	ウェル		フラット			
コンテナ組合せ	$9^{1/2} + 8^{1/2}$	$9^{1/2} + 9^{1/2}$	$9^{1/2} + 8^{1/2}$	$9^{1/2} + 9^{1/2}$		
転倒モーメント増加率	スタンダードゲージ	1.00	1.10	1.73 (1.73)	1.90 (1.73)	( )内は、フラットタイプとウェルタイプの比率(③/ ①、④/ ②)
	ブロードゲージ	0.85	0.94	1.48 (1.74)	1.63 (1.73)	

注) 数字が小さいほど安定性が高いことを意味する

c) 結論

前表から、フラットタイプは重心位置が高くなることから、横風の転倒に対する影響が大きくなるため、標準軌ウェルタイプに比べて約 1.48 倍で転倒モーメントが増加する。なお、強風の影響は、走行時のみでなく停車中も受けるため、広軌である事を考慮しても転倒の危険性は高くなると考えられる。

一方、Volume 4 TWP 5-(2)に示すように転覆限界風速の計算結果から、曲線半径 700m における転覆限界風速はカント 60mm 以上であれば、30m/s 以上となるので、フラット DSC がクリティカルとはいえない。

走行安定性には軌道やコンテナ積載条件等の要素が関連するので、フラット DSC を採用するには、さらなる検討および風洞実験を含む試験が必要と考えられる。(Volume 4 Technical Working Paper Task2, 5-(1)参照)

**(3) 輸送需要面からみた DSC の必要性**

DFC の需要想定から見た結果、当面は SSC 列車のみでの輸送が可能であるが、将来にわたってすべて SSC 列車でコンテナ輸送需要に対応することは困難であると考えられる。したがって、長期的な輸送需要を見越し、DFC においては DSC を運行できるように電化前提の設備基準を設定すべきである。

**(4) 既存線直通運転への配慮**

DSC の仕様決定にあたっては、DFC の建設工事費および既存線の改良工事費を極力減らす配慮が必要である。

DFC をフラット DSC 対応で電化しても、次節での検討結果から DFC の電車線高さ 7.53m と既存線の最小電車線高さ 4.80m の両方に対応可能な高揚程のパンタグラフを用いることにより、直通運転が可能である。

ウェル DSC の列車選定に当たっては、コンテナ高さを  $9^{1/2}\text{ft} \times 2$  とするか  $8^{1/2}\text{ft} + 9.6\text{ft}$  とするかを検討する必要がある。すなわち、需要の許す範囲で最小限の空頭とし、既存線への直通運転への障害を少なくなる配慮が必要である。

**(5) 輸送サービス面への配慮**

DSC 列車の上段のコンテナは横揺れによる貨物の移動が大きく、荷傷みがしやすいと言われる。またコンテナ数の少ない区間の輸送については、DSC 列車運転とすることにより列車の運転回数が減るので、港湾または発 ICD で待たされる日数が多くなり、サービスの低下となる。したがって、DSC 運転は輸送力確保の手段として必要な場合のみ運転することとし、原則は SSC 運転とすることが望ましい。

**(6) 東西両回廊仕様の統一化**

PETS-II は西回廊フラット DSC、東回廊ウェル DSC としているが、輸送上、東西回廊の直通運転が考えられることから、異なる規格を採用することは問題が多い。国内コンテナ輸送が今後増大することが想定されるので、西回廊と東回廊の規格を統一することが望ましい。

なお、東回廊は現時点での需要想定上、2033年まで SSC で対応可能である。

### 5.1.5 まとめ

線路容量を各方向 140 本/日と仮定すると、輸送需要から 2023/24 年に SSC 輸送では線路容量が飽和する。したがって、少なくとも DSC は 2023/24 年から開始する必要がある。しかしながら、フラットでもウェルでも 2033/34 年の需要を満たすことができる。

ウェル貨車による DSC は既に米国、中国およびオーストラリアで導入されており、安全性について長い期間での実績を有している。中国鉄道の場合には営業運転開始前 2 年間に渡り、安全性確認のため電化区間での DSC 試験走行を行っている。したがって、DSC 運行は電化区間でも非電化区間でも実証されている。

交流 25 kV 電化区間において、最小絶縁離隔 270mm を確保すれば、DSC でも問題ない。DSC の高さに対応する電車線と電柱の設計については、電車線高さ 7.53m でも問題のないことを（Volume 4 Technical Working Paper Task2, 5-(5)）に示した。中国鉄道も交流 25kV 電車線下で絶縁離隔 270mm を確保している。

フラット貨車による DSC はインドで短期間試験されたのみであり、他の鉄道は非電化であっても電化であっても導入していない。フラット貨車による DSC の高重心は安全性検証のポイントである。IR が本方式を導入するのであれば、安全性検証のため、様々な条件で長期間の注意深い試験を行うべきである。中国鉄道は営業運転の前に DSC の試験運転を行っている。

フラット貨車による DSC の最高速度は RDSO の試験結果により 75km/h に制限されている。ウェル貨車による DSC は米国および中国で 100km/h 以上の実績がある。

大きな MMD を採用する DFC 線と既存線との直通運転に関し、ウェル貨車による DSC であれば既存のパンタグラフで対応できる。フラット貨車による DSC では作用範囲の大きいパンタグラフ採用により、直通運転が可能となる。このパンタグラフはヨーロッパで既に実用化されている。したがって、パンタグラフは直通運転の障害にはならない。

単位 TEU 当りの輸送コストは SSC に対しフラットで 74.3%、ウェルで 75.9%となる。一方、地上設備の改修を考慮すれば、フラット DSC がウェル DSC に対して優位であるとはいいがたい。

以上から、調査団はウェル貨車による DSC を推奨する。

## 5.2 電車線とパンタグラフ

### 5.2.1 車両の高さと電車線高さ

電化線区における構造物のクリアランスは、ROB については IR の設計基準である車両最大高さ+1,070mm を採用し、その他については電車線高さに絶縁離隔、電車線構造物高さを加えたものを採用した。これらの寸法を表 5-15 に示す。

表 5-15 車両高さや構造物クリアランスの関係

		JST		PETS-II	
		DSC on flat	DSC on well	DSC on flat	DSC on well
貨車	床面高さ	1,000	400	1,035	400
	コンテナ *1	5,827	5,827	5,827	5,827
	小計	6,827	6,227	6,862 (6,800) *3	6,227 (6,600) *3
	MMD (A)	6,830	6,230		
OHE	最小絶縁離隔 *2	300	300		340
	施工誤差	20	20		
	パンタグラフ押し上げ 量	100	100		80
	軌道高さ嵩上げ *4	275	275		275
	Subtotal (B)	695	695		695
OHE 高さ (A)+(B)		7,625	6,925		7,920
ROB 下の OHE 高さ		7,173	6,573	7,100	6,940
ROB (A)+1,070 *5		7,900	7,300	7,760	7,560

\*1 コンテナ高さは 9<sup>1</sup>/<sub>2</sub>ft (2,896mm) 2 段に、コンテナ間の締結金具 35mm を加えた

\*2 電車線の振動を含む

\*3 PETS II は顧客決定数値と記述している

\*4 空頭が制限されている区間における車両高さや ROB (幅 30m) との最小間隔、図 5-5 参照

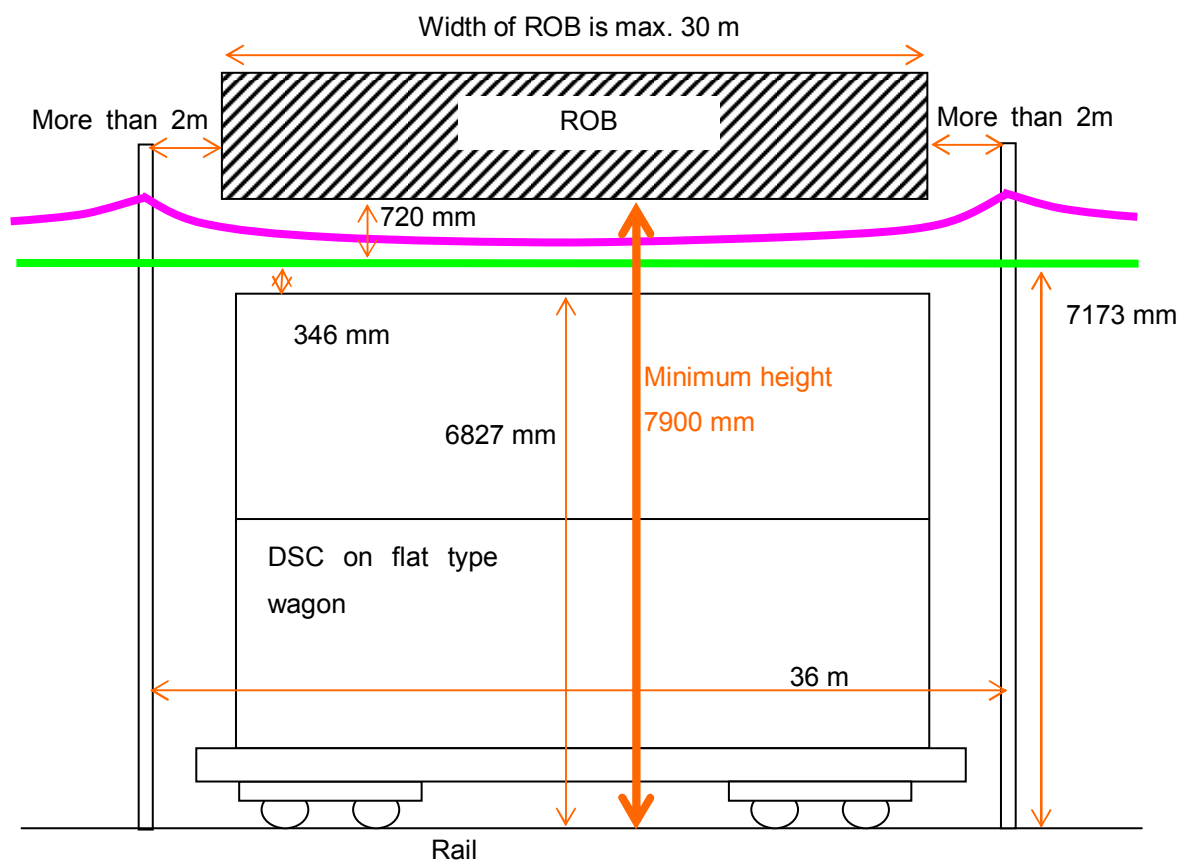


図 5-5 Minimum height of undersurface of ROB

## 5.2.2 電車線とパンタグラフ

### (1) フラット貨車による DSC

電車線線高さは前節で述べたように、フラットタイプ貨車による DSC の場合、最小 7,100 mm、最大 7,530 mm となる。また、既存線の電車線最小高さは 4,800 mm である。

既存の電気機関車 WAG-7 のパンタグラフ折り畳み高さは 4,150 mm であるが折りたたみ高さを 4,500 mm まで上げることが可能である。PETS II Eastern Corridor, 11.1.2 では 4,660 mm としていたが、調査団は最低電車線高さ 4,800 mm に絶縁離隔 300 mm 確保して 4,500 mm とした。

したがって、図 5-6 に示すように、最大伸び高さ 3,030 mm、電車線追従範囲 4,800~7,530 mm の 2,810 mm を満たすパンタグラフを搭載すれば、既存線と DFC 線との直通運転が可能となる。

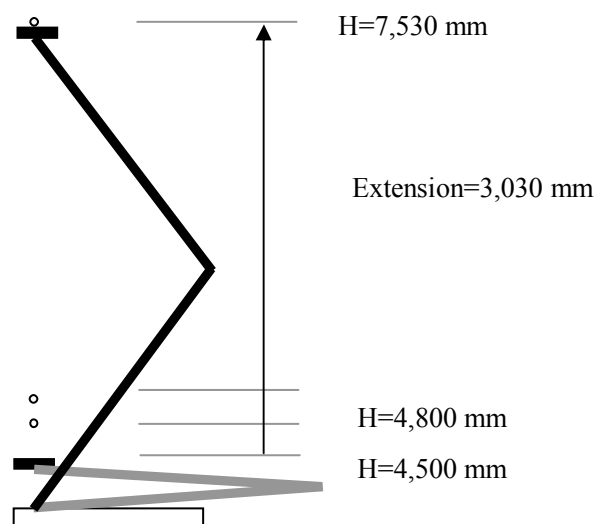


図 5-6 パンタグラフと架線の関係

### (2) ウェルタイプ貨車による DSC

ウェルタイプ貨車の場合、電車線高さが最大 6,930 mm となる。現在使用している AM-12 形パンタグラフは折りたたみ高さ 4,150 mm、最大伸び高さ 2,500 mm であるので、折りたたみ高さを 4,500 mm とすることにより、このパンタグラフはウェルタイプの DSC に対応した電車線高さに追従可能である。

したがって、パンタグラフ取り付け高さを 4,500 mm まで高くすることにより既存線と DFC の相互直通運転が可能となる。

### (3) ワイドレンジパンタグラフの例

ワイドレンジに対応したパンタグラフの概念設計を図 5-7 に示す。RITES と調査団でそれぞれパンタグラフの事例について調査した結果、欧州メーカーの製造するパンタグラフの例を得た。



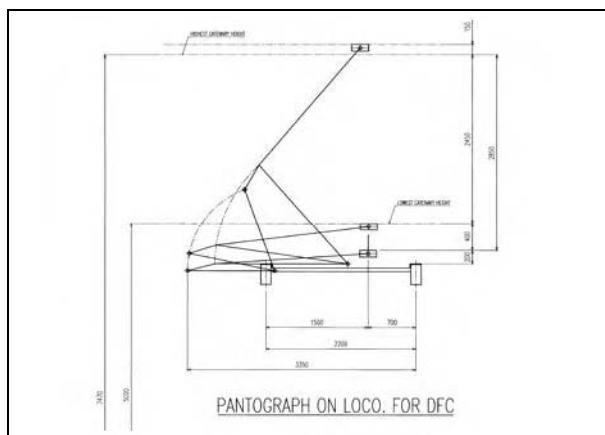
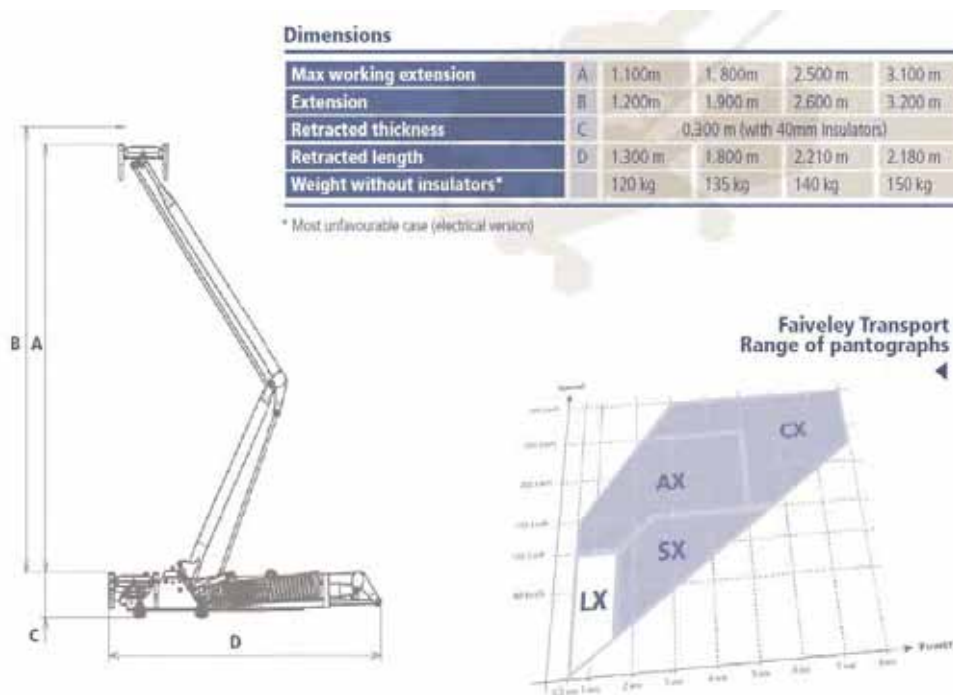


図 5-7 ワイドレンジに対応したパンタグラフの概念設計

図 5-8 に示すように、最大作用高さは 3,100mm であり、押し上げ力、使用電圧、集電電流は DFC の設計条件を満たす。



出典:Faiveley Transport HP ([http://www.faiveley.com/uk/pub/categories\\_products/17a.pdf](http://www.faiveley.com/uk/pub/categories_products/17a.pdf))

図 5-8 ワイドレンジパンタグラフの例

#### (4) パンタグラフと電車線との関係

DSC 対応で電車線高さ既存線の 5.60m から 7.53m に高くなることに伴い、曲線通過時の車両動揺によるパンタグラフの偏倚について検討した結果、DFC においては、電車線敷設時の左右方向の幅を 10%程度小さくする必要がある。

### 5.2.3 DFC と既存線の電車線高さの遷移

DFC 電車線高さ 7,530mm と既存線電車線高さ 5,500mm の遷移区間について、低速

(30km/h) と高速 (60km/h) の2つのケースについて、図 5-9 に示すように検討した。

低速区間では分岐器中心から 351m、高速区間では 711mm の長さで電車線高さを調整すればよいといえる。

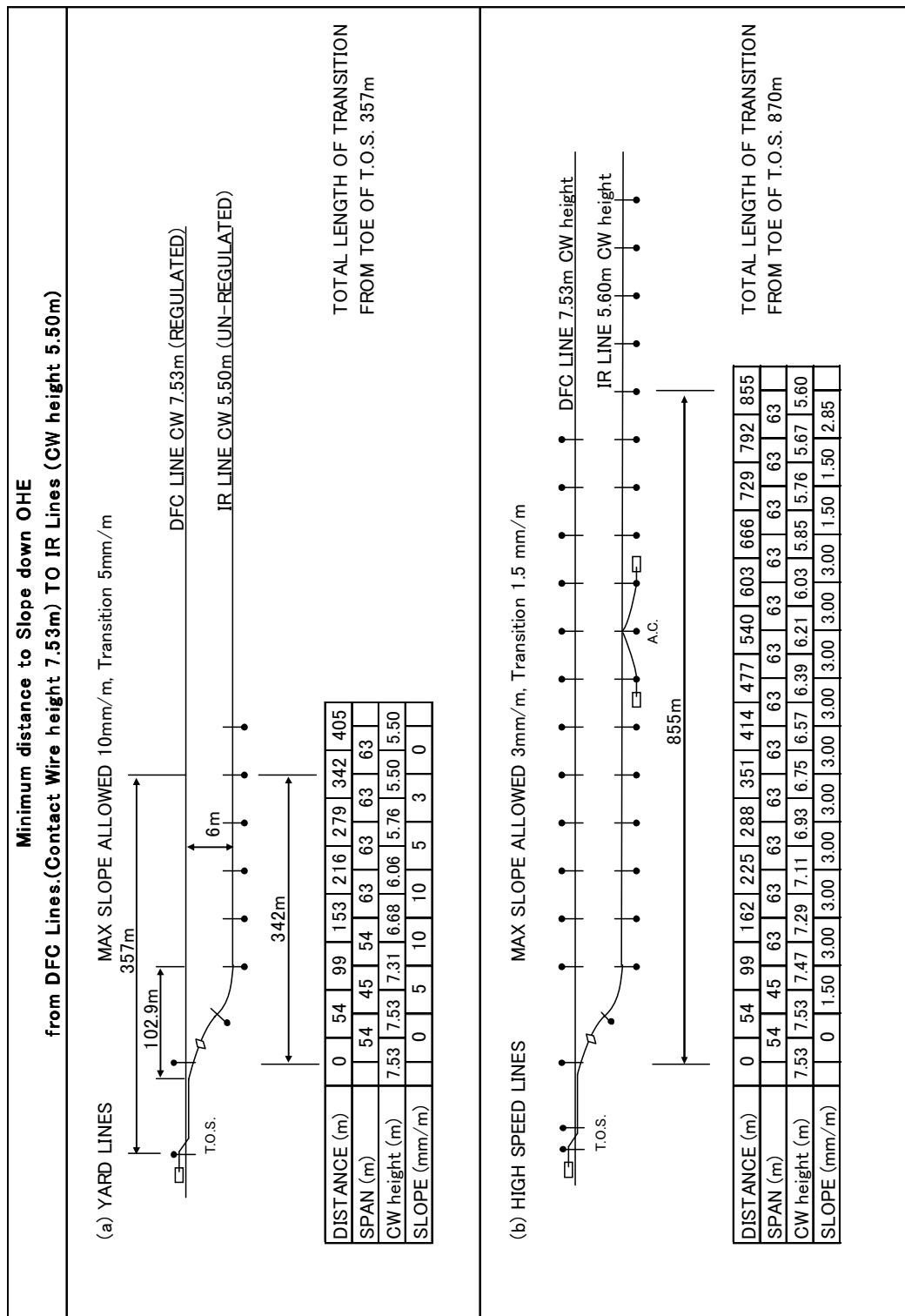


図 5-9 電車線高さ遷移区間の検討

## 5.2.4 まとめ

車両最大移動量（MMD）高さは、フラット貨車による DSC が 6,830mm、ウェル貨車による DSC が 6,230mm となる。

電車線高さは、絶縁離隔、振動、施工誤差およびパンタグラフ押し上げ量から計算される。跨線橋（ROB）最小空頭はレール面上、フラット貨車による DSC が 7.9m、ウェル貨車による DSC が 7.3m となり、PETS-II の内容と大きな差はない。

ウェル貨車による DSC を採用すれば、パンタグラフ取り付け位置を変えることによって、既存のパンタグラフによる直通運転が可能である。あるいは後述のパンタグラフを使用すれば、パンタグラフ折り畳み高さ 4.15m のままで直通運転が可能となる。

フラット貨車による DSC では、ヨーロッパメーカーが実用化している大きな作動範囲を有するパンタグラフにより、直通運転が可能となる。

電車線高さ 7.53m（DFC）から 5.60m（既存線）への遷移区間についても調査の結果、問題はない。パンタグラフと電車線の相対変位についても横方向の設置幅を 10%減とすることを推奨する。

## 5.3 西回廊の動力方式の比較検討

rites 報告書においては、DFC の電化/非電化について東回廊は電化、西回廊は非電化の前提に立って検討を行っている。これは、東回廊の既存線の大部分が電化されており、西回廊の既存線は DFC 路線の Ahmedabad 以北および西回廊への主要なフィーダー線となる Gujarat 地方が非電化であるため、DFC からこれら既存線へのフィーダー輸送の容易性を考慮した結果であると推察される。

電化区間をディーゼル機関車が走行することは可能であるが、逆は不可能である。一般的に電気運転はディーゼル運転よりもエネルギー効率に優れ、ディーゼル運転に比べて初期投資を必要とするが、その後のランニングコストはディーゼル運転に比べて安く、運行頻度が上がれば上がるほど、総プロジェクトコストは電気運転のほうが有利となる傾向にある。

そこで、本節では特に電化の検討が実施されていない西回廊を対象として、電気運転/ディーゼル運転について 1) 石油/石炭価格の動向、インドの電力事情を考慮したエネルギー戦略面からの評価、2) 財務内部収益率、正味現在価値を指標としたコスト分析および 3) CO<sub>2</sub> 排出量を指標とした環境面からの評価を行い、同回廊の電化の可能性について検証を行った。

### 5.3.1 エネルギー戦略の観点からの評価

#### (1) 原油価格の推移

最近 5 年間の原油価格の推移は図 5-10<sup>1</sup>にあるように、上昇傾向にある。これは長期でも同様の傾向が図 5-11 に示すように見て取れる。1980 年代初期の価格のピークはイラン/イラク戦争が原因であったが、近年の上昇はインド、中国、ブラジル等の国々の経済

<sup>1</sup> 図 5-10,5-11 : WTRG Economics report “History and Analysis – Crude Oil Prices” 12/04/05 より

成長に起因するものであり、将来にわたって原油価格が低下することは難しいと思われる。

インドをはじめとする諸国の高経済成長、自動車の急速な普及に伴って、原油価格は高騰している。一時的に小康状態にあるとはいえ、中長期的に見れば、原油価格の上昇は続くものと思われる。同時に、中東の政治情勢等から安定した原油の供給先を確保することは国家的な課題となっている。

したがって、DFC の動力方式が原油に依存することは、将来の原油価格上昇も考慮すると好ましいとはいえない。したがって、多様なエネルギー源を活用できる電気運転の方が望ましいといえる。

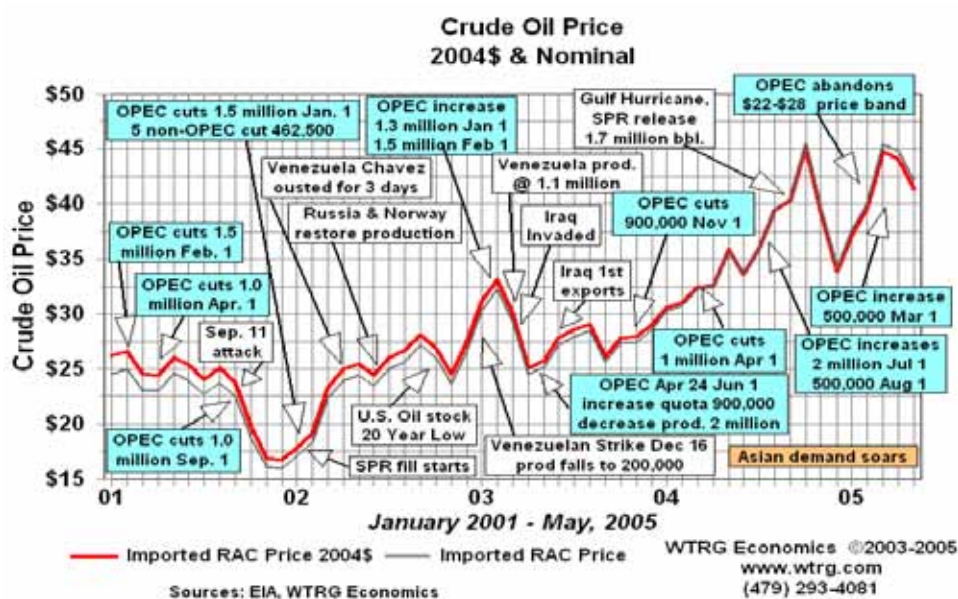


図 5-10 原油価格の推移(短期)

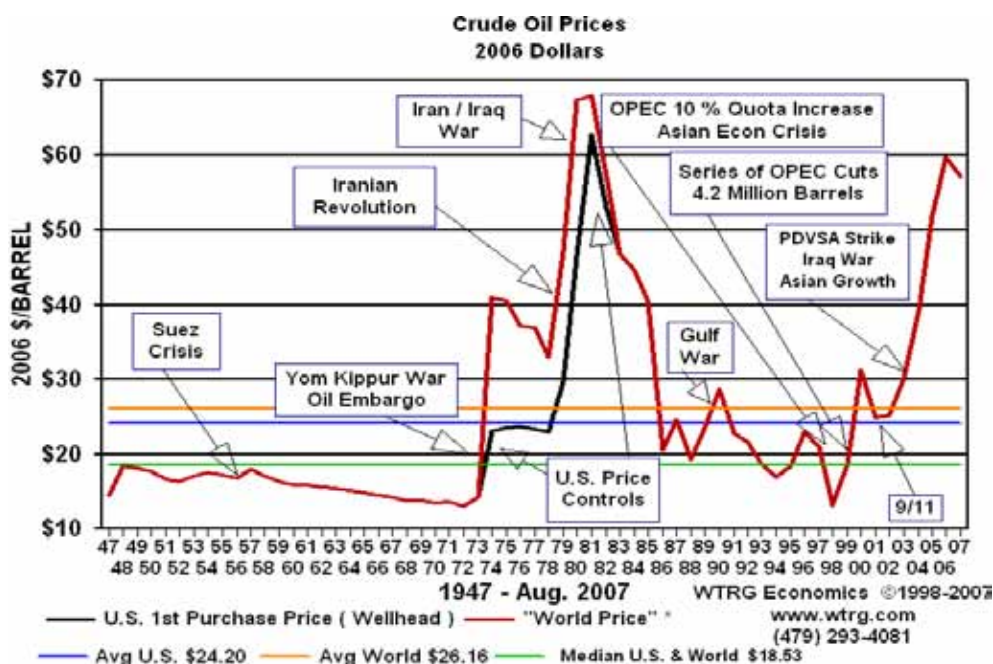


図 5-11 原油価格の推移(長期)

## (2) 原油の消費と生産

インドは経済成長とともに石油の消費量も増加している。しかし、図 5-12 に示すように、2005/06 年度で国内産原油は需要の 8.3%をまかなうのに過ぎない。

ガス田の開発も進められているが、国産エネルギー源としては、大きな部分を水力と石炭に頼らざるを得ないのが現状である。

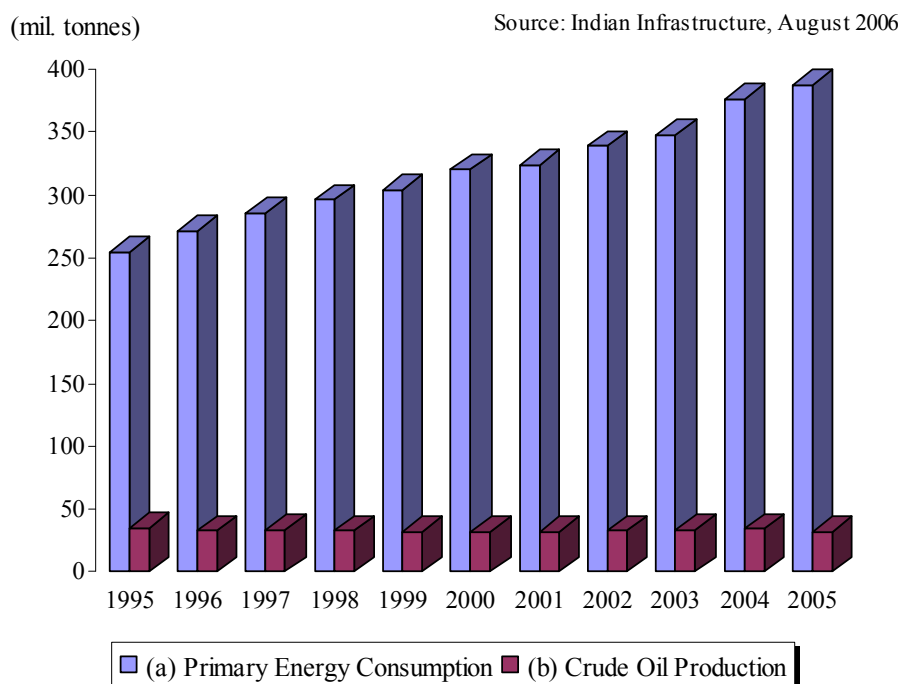


図 5-12 インドにおける一次エネルギー消費量と原油生産量

## (3) 電力供給の現状

インドの電力エネルギーの現状は、図 5-13 に示すように水力と火力が大きな割合を占めている。

石炭火力による発電は 2006 年 9 月の政府統計で全発電力の 66%であり、その絶対能力は 69,200MW と発表されている。先の現場調査時の聴取における回答では、政策的に公共性の高い企業・事業には輸入と国産のうちから優先して高品位の石炭が供給されていると説明されている。

エネルギー省は 10 カ年計画で火力および水力発電の能力増強に力を入れていくとしている。2006-07 年は 19,000MW 増強が完成し、今年度中に供用開始となる。現在 40,000MW が工事中であり、2007-10 年に供用開始予定である<sup>1</sup>。

新規の電源開発と平行して、小規模な発電設備は政策的に廃棄処分を積極的に進め、いわゆる「スクラップアンドビルド」政策によって、より大型発電所を目指すことが近代化を加速させるであろう。これは DFC 直接の問題ではないが、将来の電力需給を考慮する場合の要素となる。

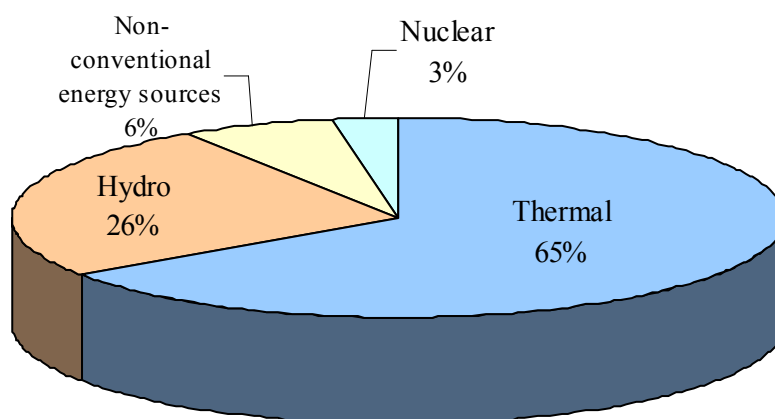
<sup>1</sup> Interview with R.V. SHARI, Secretary, Ministry of Power, Indian Infrastructure, 08.2006

中央電力公団 (CEA、Central Electric Authority) の火力、水力発電計画は 70,275 MW である。西回廊に係る電力開発計画は、火力 15,245 MW、水力 980 MW となっている。調査団の提案する西回廊電化による鉄道電力需要は輸送計画から表 5-16 に示すように、2013 年開業時 126 MW、2033 年時点で 425 MW であり、電力需要に大きな影響を及ぼさないといえる。

表 5-16 西回廊想定電力需要

	million GT km/day			Electric power MWh/day	Power demand MW
	Bulk	Container	Total		
2013	239.8	97.8	337.6	2,529	126
2018	380.7	278.2	658.9	4,935	247
2023	440.1	407.6	847.7	6,349	317
2028	498.0	550.0	1,048.0	7,850	392
2031	537.0	598.8	1,135.8	8,507	425

Energy consumption based on Western Railway in 2004/05; 7.49kWh/1,000 GT km  
One day couted as 20 hours



Total Capacity : 124,287 MW (as on March 31, 2006)

出典: Indian Infrastructure, August 2006

図 5-13 インドにおけるエネルギー源別発電量

#### (4) 石炭価格の推移

インドが当面石炭火力中心で進まざるを得ないことは上記の議論から明白である。では、石炭供給に不安はないのだろうか。

石炭火力用には国内炭と輸入炭を使用している。内陸部は比較的国内炭の割合が高いが、沿岸部に建設される火力発電所は輸入炭を使用している。石炭の輸入量は 2005/06 年度で 11 百万トンであり、輸入炭の熱量が高いため、国内炭 17 百万トンに相当する。

石炭の国際価格は、図 5-14 (Figure 1 of IEA Document<sup>1</sup>を引用) に示すように、原油価格に比べ安定している。

<sup>1</sup> Steam and coking coal prices, Larry Metzroth, Principal Administrator, Energy Statistics Division, International Energy Agency, 3<sup>rd</sup> Quarter 2004

石炭の供給先もオーストラリア等政情の安定している国が多いので、供給に対する懸念はないと考えられる。

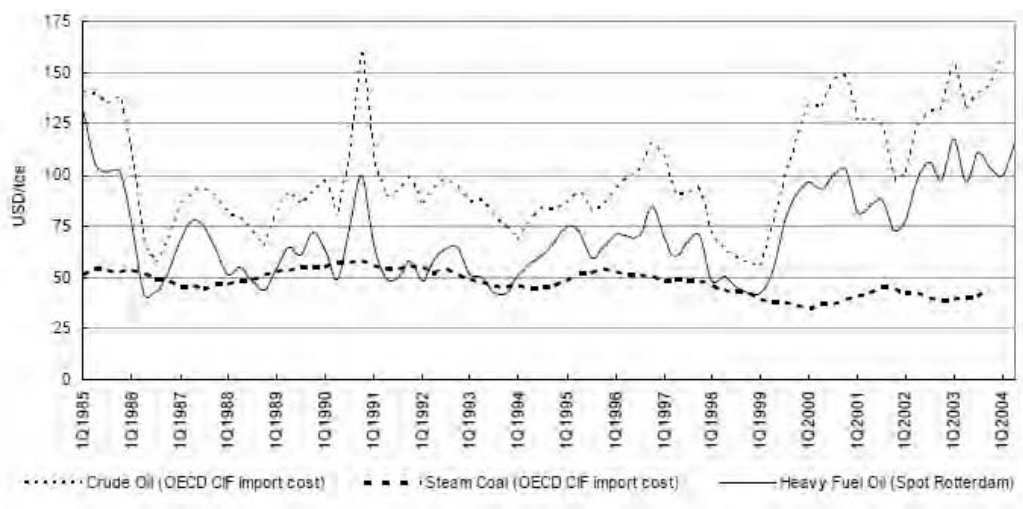


図 5-14 OECD 国際石炭/石油取引価格

### 5.3.2 コスト分析

本分析で対象とした費用項目は以下の通りである。

- 1) 電気運転
  - 資本費 (電気機関車、電気設備、道路弧線橋架け替え)
  - 維持管理費 (電気機関車保守、電気設備保守)
  - 動力費
- 2) ディーゼル運転
  - 資本費 (ディーゼル機関車)
  - 維持管理費 (ディーゼル機関車保守)
  - 動力費

上記以外の費用 (貨車、運転手人件費等) は電化/非電化で共通とし、今回の分析項目からは除外した。輸送需要伸び率および列車本数は、需要予測 (4 章) および輸送計画 (6 章) を基本とし、使用機関車両数はこれを元に算定した。

コンテナ列車の運行方式は、DFC 区間のみを走行する列車はダブル・スタック (DSC)、在来線に乗り入れる列車はシングル・スタック (SSC) とし、現況の列車 OD を基にその需要割合を 7:3 と仮定した。なお、DSC はウェル貨車による運行を想定した。

開業年次は 2013/14 年とし、建設期間 5 年間を含む評価期間は 26 年間 (2033/34 年まで) とした。

#### (1) エネルギーコスト

西回廊に係る機関車の動力費は 2004/05 年度統計年報を基礎に算出した (表 5-9 参照)

- 電気運転：33.44 Rs/1000 GT km
- ディーゼル運転：62.80 Rs/1000 GT km

## (2) 保守コスト

機関車、電気設備の保守費および運転に要する人件費は前掲統計年報から以下の通り算定した。（表 5-6 および表 5-8 参照）

**表 5-17 保守コスト**

	Traction	Cost
Locomotive maintenance Cost	Electric	7.18 Rs./1000 GT km
	Diesel	12.94 Rs./1000 GT km
Electric facility maintenance cost	Electric	36.8 Crore Rs./year
Personnel Cost	Mutual	716 Rs./100 Train-km

## (3) 列車あたり機関車数と想定価格

列車あたりの機関車数、仕様およびその価格については、5.1.3 節『SSC/DSC のコスト・ベネフィット分析』と同様の条件とした。（表 5-3 参照）

## (4) 輸送需要および機関車調達計画

機関車調達は、2012/13 年の需要に応じて開業年次に新規車両を購入し、その後は毎年の輸送需要増に対応して毎年購入することとした。また、使用機関車両数の 10%を予備機関車として調達することとした。表 5-18、表 5-19 に輸送需要および機関車両数を示す。

**表 5-18 輸送需要および機関車両数 2023-24**

		Electric Loco	Diesel Loco	
Demand (10 <sup>9</sup> Net ton km)	Container	72.40		
	Bulk	21.90		
Number of Locomotives	Locos in operation	Container	202	236
		Bulk	59	112
		Total	261	348

**表 5-19 貨物需要伸び率**

Year	Growth Rate per Annum	
	Container	Bulk
2013/14 – 2018/19	28.8%	10.1%
2018/19 – 2023/24	8.6%	1.8%
2023/24 – 2028/29	6.1%	1.9%
2028/29 – 2033/34	4.0%	1.9%
2033/34 -	0.0%	0.0%

## (5) 電化関連施設費用

西回廊の電化関連施設建設費用は RITES 報告書および入手可能なデータから以下の通り想定した。保守費用は毎年建設費の 2%を見込んだ。



- Unit Price: 0.55 Crore Rs./track-km
- Total Cost: 1,610.31 Crore Rs.

#### (6) コスト分析

表 5-20 に上述の条件を基にしたコスト分析結果を示す。IRR=24.4%、NPV=959.8 Crore Rs. という結果から、上記条件の下では電化が有利であることが示された。輸送需要及びディーゼル燃料に関する感度分析(-50%~+50%)結果を表 5-21 に示す。輸送需要に関しては、予測値より 50%下回った場合においても、電化が有利となった。一方で、ディーゼル燃料については、現状よりも 25%価格が下回った場合には、NPV についてはディーゼル化が有利との結果となった。電化コストの感度分析では全ての場合で電化有利となった。

表 5-20 西回廊の動力方式に関するコスト分析

No.	Year	Transport Plan					Electrification Cost						Dieselization					Present Worth					
		(10 <sup>7</sup> Gross.ton.km)					ROB		Electric Facilities		Locomotive		Total	ROB		Locomotive			Total	Discount Rate (%)	Electrification (Crore Rs.)	Dieselization (Crore Rs.)	Total (Crore Rs.)
		SSC Only Cont.	DSC+SSC(EL) Cont.	Bulk	DSC+SSC(DL) Cont.	Bulk	Construction (Crore Rs.)	Capital (Crore Rs.)	O&M (Crore Rs.)	Procurement (Crore Rs.)	Fuel (Crore Rs.)	Maintenance (Crore Rs.)		Construction (Crore Rs.)	Procurement (Crore Rs.)	Fuel (Crore Rs.)	Maintenance (Crore Rs.)						
9	10	11	12	13	14	18	19	24	25	26	27	28	33	34	35	36	37	38	39	40			
1	2008-09						448.55					448.55	419.49				419.49	100.0%	448.55	419.49	(29.07)		
2	2009-10						448.55					448.55	419.49				419.49	89.3%	400.49	374.54	(25.95)		
3	2010-11						448.55					448.55	419.49				419.49	79.7%	357.58	334.41	(23.17)		
4	2011-12						448.55	335.66				784.22	419.49				419.49	71.2%	558.19	298.58	(259.61)		
5	2012-13						448.55	335.66				784.22	419.49				419.49	63.6%	498.38	266.59	(231.79)		
6	2013-14	30.62	23.31	18.63	24.42	19.03	448.55	536.77	20.14	1,246.40	140.24	30.11	2,422.21	419.49	1,667.00	272.87	56.22	2,415.58	56.7%	1,374.43	1,370.66	(3.76)	
7	2014-15	39.43	30.02	20.51	31.45	20.95	448.55	201.11	20.14	199.30	168.97	36.28	1,074.35	419.49	276.40	329.09	67.81	1,092.78	50.7%	544.30	553.64	9.34	
8	2015-16	50.78	38.66	22.58	40.50	23.07	448.55	201.11	32.21	192.60	204.79	43.97	1,123.23	419.49	276.40	399.23	82.26	1,177.37	45.2%	508.09	532.58	24.49	
9	2016-17	65.39	49.78	24.87	52.15	25.40	448.55		32.21	217.60	249.63	53.60	1,001.58	419.49	313.00	487.07	100.36	1,319.91	40.4%	404.52	533.09	128.57	
10	2017-18	84.21	64.11	27.38	67.16	27.97	448.55		32.21	278.30	305.94	65.69	1,130.68	419.49	401.60	597.45	123.10	1,541.64	36.1%	407.74	555.93	148.19	
11	2018-19	93.59	71.24	27.80	74.64	28.40			32.21	303.30	331.21	71.11	737.83		438.20	647.09	133.33	1,218.63	32.2%	237.56	392.37	154.81	
12	2019-20	101.63	77.37	28.31	81.05	28.92			32.21	135.70	353.37	75.87	597.15		198.40	690.62	142.30	1,031.33	28.7%	171.67	296.48	124.82	
13	2020-21	110.36	84.01	28.82	88.02	29.45			32.21	150.20	377.33	81.02	640.75		224.40	737.68	152.00	1,114.07	25.7%	164.47	285.96	121.49	
14	2021-22	119.85	91.23	29.35	95.58	29.98			32.21	135.70	403.23	86.58	657.71		198.40	788.55	162.48	1,149.43	22.9%	150.73	263.42	112.69	
15	2022-23	130.14	99.07	29.89	103.79	30.53			32.21	164.70	431.23	92.59	720.73		250.40	843.56	173.82	1,267.77	20.5%	147.48	259.41	111.94	
16	2023-24	138.57	105.48	30.44	110.51	31.10			132.91	129.00	454.53	97.59	814.03		198.40	889.30	183.24	1,270.94	18.3%	148.72	232.20	83.48	
17	2024-25	143.47	111.93	31.00	117.26	31.67			32.21	135.70	477.97	102.63	748.50		198.40	935.33	192.73	1,326.45	16.3%	122.10	216.37	94.28	
18	2025-26	148.55	118.77	31.58	124.43	32.26			92.54	150.20	502.76	107.95	853.45		224.40	984.01	202.76	1,411.17	14.6%	124.30	205.53	81.23	
19	2026-27	153.81	126.03	32.16	132.04	32.85			32.21	135.70	528.99	113.58	810.47		198.40	1,035.52	213.37	1,447.29	13.0%	105.39	188.20	82.81	
20	2027-28	159.26	133.73	32.75	140.11	33.46			32.21	150.20	556.73	119.54	858.68		224.40	1,090.01	224.60	1,539.01	11.6%	99.70	178.69	78.99	
21	2028-29	164.90	141.91	33.36	148.67	34.08			32.21	150.20	586.09	125.84	894.34		224.40	1,147.67	236.48	1,608.55	10.4%	92.71	166.75	74.04	
22	2029-30	162.39	147.51	34.00	154.54	34.73			32.21	110.70	606.96	130.32	880.19		161.80	1,188.62	244.92	1,595.34	9.3%	81.47	147.66	66.19	
23	2030-31	159.92	153.33	34.65	160.64	35.39			32.21	85.70	628.60	146.57	1,193.08		125.20	1,231.11	670.42	2,026.73	8.3%	98.60	167.49	68.89	
24	2031-32	157.48	159.39	35.31	166.99	36.07			32.21	110.70	651.06	189.62	983.59		161.80	1,275.19	331.85	1,768.84	7.4%	72.58	130.52	57.94	
25	2032-33	157.48	159.39	35.31	166.99	36.07			32.21	110.70	651.06	187.94	981.91		161.80	1,275.19	331.85	1,768.84	6.6%	64.69	116.53	51.84	
26	2033-34	157.48	159.39	35.31	166.99	36.07			(161.03)	132.91	(2,350.91)	651.06	194.19	(1,533.78)		(3,621.33)	1,275.19	341.00	(2,005.14)	5.9%	(90.22)	(117.95)	(27.73)
							1,449.28	913.93	4,181.90	7,959.62	2,040.35	21,056.63		5,961.40	15,569.95	3,637.83	29,420.25	12.00%	7,294.21	8,369.15	959.77		

FIRR= 24.38%  
NPV= 959.77 Crore Rs.  
B/C= 1.15

表 5-21 輸送需要およびディーゼル燃料費に関する感度分析

			Fuel Cost of Diesel Oil				
			50%	75%	100%	125%	150%
Transport Demand	50%	FIRR (%)	-	7.3%	14.2%	19.1%	23.1%
		NPV (Crore Rs.)	-573.8	-220.3	133.2	486.7	840.2
	75%	FIRR (%)	-	12.3%	19.8%	25.6%	30.53%
		NPV (Crore Rs.)	-514.0	16.3	546.5	1,076.7	1,606.96
	100%	FIRR (%)	-	16.0%	24.4%	31.0%	36.8%
		NPV (Crore Rs.)	-454.2	252.8	959.8	1,666.8	2,373.7
	125%	FIRR (%)	0.1%	19.1%	28.4%	35.9%	42.5%
		NPV (Crore Rs.)	-394.4	489.3	1,373.1	2,256.8	3,140.5
	150%	FIRR (%)	3.6%	21.9%	32.1%	40.4%	47.6%
		NPV (Crore Rs.)	-334.6	725.9	1,786.3	2,846.8	3,907.3

### 5.3.3 環境面からの評価

ディーゼルと電気のエネルギー効率を比較したものを表 5-22 に示す。CO<sub>2</sub> ガス排出量も各機関車別に算出した。

表 5-22 ディーゼル機関車および電気機関車のエネルギー効率比較

		燃料消費			CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> )	電気/ディーゼル
		(BTU)	(kcal)	(kWh)		
旅客	ディーゼル	170.20	43	0.050	0.010	1.00
	電気	64.60	16	0.019	0.006	0.60
貨物	ディーゼル	255.50	64	0.075	0.015	1.00
	電気	84.60	21	0.025	0.008	0.53

注)トン・キロあたりエネルギー消費量および CO<sub>2</sub> 排出量

1BTU(英熱量: British thermal unit)=0.252kca=0.00116kWh

電気(石炭): 1kWh=0.32kg-CO<sub>2</sub>

ディーゼル: 1kWh=0.202kg-CO<sub>2</sub>

出典: S.R. Chaudhuri, Indian Railways, January 2006 (Power Losses included)

以上から、ディーゼル旅客列車のエネルギー消費量は電気列車の 2.6 倍、ディーゼル貨物列車は電気の 3.0 倍との結果を得た。また、ディーゼル旅客列車の CO<sub>2</sub> ガス排出量は、電気列車の 1.6 倍、ディーゼル貨物列車は電気列車の 1.9 倍との結果を得た。

したがって、環境の観点から電気運転はディーゼル運転よりも大きな利点を有するといえる。

### 5.3.4 まとめ

まず、本節冒頭に記したフィーダー線との相互乗り入れ容易性については、DFC 本線を電化した場合においても、ディーゼル機関車による運行は可能であることから、フィーダー線が非電化であることは DFC 本線電化の障害とはならない。また、DSC 運行を行う際には、電気運転/ディーゼル運転にかかわらず道路弧線橋および既存電路設備の嵩上げが必要であり、DFC 本線の電気運転を棄却する理由にはならない。

インドの経済成長による一次エネルギー需要が増加し、かつ自給率が 10%以下であるにも拘らず、西回廊を石油のみに依存するディーゼル牽引とするのには危険がある。中長期的に原油価格が上昇するので、エネルギーセキュリティの観点からも電気牽引が望ましい。

DFC の動力方式を高価格傾向にあるディーゼル燃料に依存することは、プロジェクトの収益にも影響する懸念がある。したがって、多様なエネルギー源を活用できる電気牽引採用が望ましい。

電気牽引の動力費はディーゼルの 53%となっている。継続的な原油価格上昇を考慮すると、ディーゼル牽引の動力費が電気牽引よりも少なくなることは期待できない。したがって、中長期的に電気牽引のエネルギー消費量はディーゼルのそれを下回る。

電気機関車保守コストはディーゼル機関車の 55%である。動力費を含めた全運行経費は電気牽引のほうが安くなる。

経済分析の結果、新線であっても電化が経済的である。結果は、節約額 Rs. 8,363.6 Cr.、FIRR 24.4%、正味現在価格（割引率 12%）Rs. 959.8 Cr.となり、電化がフィージブルである。動力費、保守費および電化費用の感度分析でも、ディーゼル燃料価格が 25%下がったときを除いて電化がフィージブルとなる。

以上から、本調査においては西回廊においても電化を推奨する。

## 5.4 2 編成連結列車 (DCT)構想の検討

### 5.4.1 検討の趣旨

すでに 5.1 節で検討したように、コンテナ列車は DSC 列車とすることにより、抜本的なインフラ改良をせずに輸送容量を増強することができる。しかしながらバルク輸送では積荷を 2 段積みにはすることは不可能である。このため、PETS-II では 2 列車を連結して 1 列車として運転する 2 編成連結列車(Double Coupled Train : DCT)構想が提起されている。

ここでは DCT 運行の必要性、技術面からみた可能性、さらにはコスト面での得失について論ずる。

### 5.4.2 輸送需要面からみた DCT の必要性

バルク列車がほとんどである東回廊では 2033-34 年段階での区間最大列車本数は 103 本であり、DFC の路線容量として想定している 140 本を下回っている（表 5-23）。東回廊では DCT として運行する意義は見出せない。

**表 5-23 区間別列車本数(東回廊)**

Section		2033
Sonnagar Jn	Mughal Sarai Jn	91.7
Mughal Sarai Jn	Cheoki	83.4
Cheoki	Prempur	86.9
Prempur	Bhaupur	93.2
Bhaupur	Tundla	103.5
Tundla	Daud Khan	93.7
Daud Khan	Khurja Jn	89.4
Khurja Jn	Dadri	51.1

出典:調査団

西回廊では比率的に多いコンテナ列車を DSC 化することを前提にすると 2033/34 年において全輸送需要に対して線路容量に余裕がある。このため、本数の少ないバルク列車を DCT として運行する意義は見出せない。

上記から考察すると、DCT の運転の必要性が生じるのは 2033/34 以降の遠い将来においてであると結論付けられる。

#### 5.4.3 DCT の運転に関する検討

DCT 列車の運転に伴う列車操縦面及び駅の扱いについて検討を行った。

##### (1) 列車の制動

貨車に備え付けられている空気ブレーキは、機関車でブレーキが操作されると引き通し管の空気圧が減圧され、逐次その減圧量が後方の貨車に伝わり、ブレーキが作用するシステムとなっている。このため、列車の編成長が長くなると、ブレーキが作用するまでに掛かる時間が長くなる。これはブレーキ性能の低下を意味している。

DCT では上記によるブレーキ性能低下を補う対策が必要であり、貨車の費用が増加する。

##### (2) 駅の取り扱い

駅の有効長が長くなると、故障等の処置のため、駅員が駅の端まで急行する時間が多く掛かる。例えば分岐器に小石が挟まれたりした場合、駅員が現地に駆けつけることなどが想定される。こうした場合、復旧までの時間が長くなる。

#### 5.4.4 車両技術面からみた検討

##### (1) 牽引性能

長大編成列車において、編成中に機関車を分散して総括制御することは米国、オーストラリア、ブラジルおよび南アフリカで実用化され、長い歴史がある。無線あるいは制御線による遠隔操縦が行われている。したがって、DCT は実証済み技術である。無線による遠隔操縦はトンネル等の覆い区間での情報伝送に問題があり、漏洩同軸ケーブル（Leakly Coaxial Cable : LCX）等が設置されている。また、貨車ブレーキの同期化もできない。一方、制御線による遠隔操縦は情報伝送の問題は少ない。2 つのシステムの比較を表 5-24

に示す。

**表 5-24 遠隔操縦システムの比較**

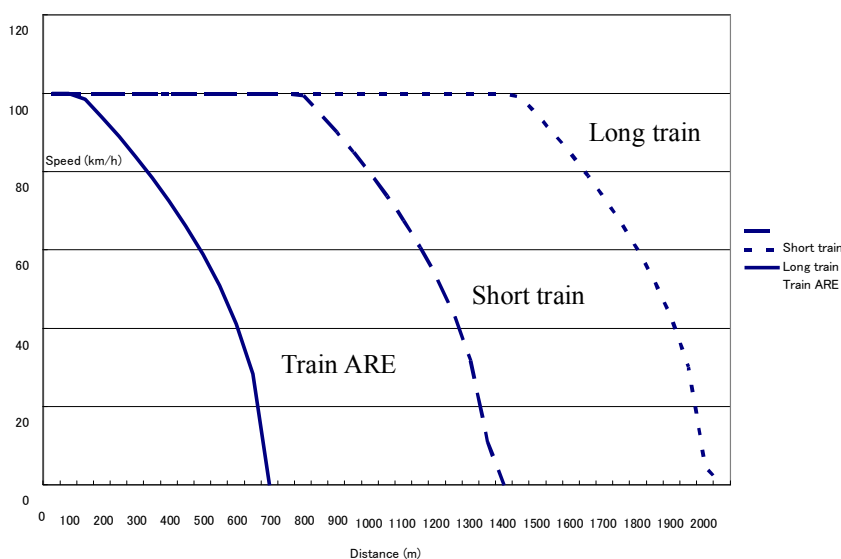
項目	無線による遠隔操縦	引き通し線による遠隔操縦
情報伝送	制御および情報伝送は無線による	制御および情報伝送は車両間に引きとおした制御線による
メリット	貨車に装置設置不要	情報伝送信頼性は無線よりも高い 専用周波数割り当て不要 貨車のブレーキ同期化可能であり、停止距離短縮、連結器応力低下、脱線防止に寄与
デメリット	トンネル、覆い区間では LCX 等の設置が必要 専用周波数の割り当てが必要 貨車ブレーキの同期化できず、停止距離は相対的に長くなる	貨車の新造費、保守費が高くなる 妨害活動により列車運行に支障

**(2) ブレーキ性能**

インド国鉄で使用している自動空気ブレーキシステムは、編成が長くなるほどブレーキの応答時間が長くなり、停止距離が長くなる。同時に、連結器に働く力が大きくなり、脱線のリスクも生じる。無線による遠隔操縦を採用しても、自動空気ブレーキ自身の問題解決にはならない。

そのため、電気指令式ブレーキや電磁自動空気ブレーキ (ARE) が開発された。電機指令式ブレーキは通勤電車や新幹線電車に採用されているが自動空気ブレーキとの互換性がない。ARE ブレーキの詳細は『Volume 4 Technical Working Paper Task2, 5-(6)』に示すが、自動空気ブレーキとの互換性があり、ブレーキの応答時間は編成長にかかわらず 3 秒程度に短縮できる。750m 長の列車の応答時間は 25 秒、1,500m 長の列車の応答時間は 50 秒と想定される。ARE ブレーキによる停止距離短縮効果を図 5-15 に示す。

重量の軽い緩急車を編成の中間に連結することは脱線のリスクを増すので推奨できない。



**図 5-15 電磁自動空気ブレーキの効果**

### (3) 列車運転時間

列車は停止してから再起動するまで、ブレーキ装置に必要な圧縮空気を列車全体に込めるための時間がかかる。750m 長の列車では 3 分程度であるが、1,500m 長では 6 分程度必要である。

#### 5.4.5 路線容量面からみた検討

DCT を運行することにより、有効長が通常の貨物列車を運転する場合の 2 倍となる。分岐器の分岐側速度制限や停止信号による速度の低下など、列車が速度制限を受ける区間を通過する時分は有効長の長さで列車の長さに応じて長くなる。このため DCT を運転する線路設備を前提とすると、通常の列車であっても制限速度区間を通過する時間が多く掛かる。DCT の場合、列車長が通常の貨物列車に比べ 2 倍と長い。このため、その末尾が速度制限区間を通過し終わるまでに、さらに長い時間が掛かる。

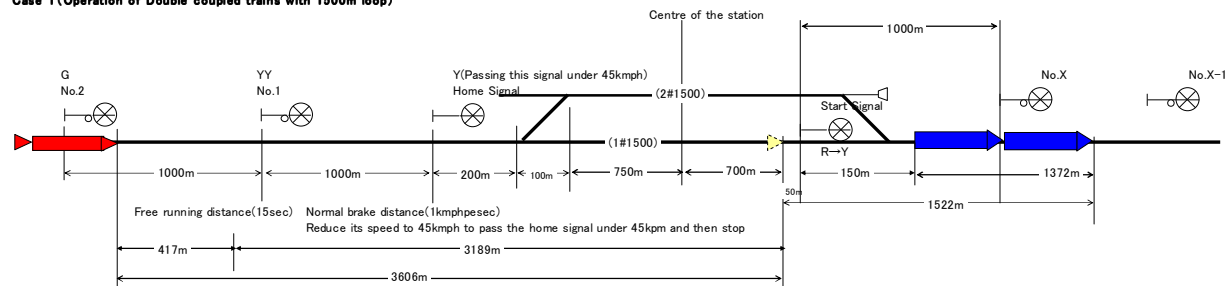
路線容量は一箇所のボトルネックが全体のボトルネックとなる性質を有している。ここでは列車運転間隔でもっとも厳しい条件 1 線着発の列車運転間隔を算出し、路線容量に与える影響を推定する。

列車運転間隔を決定する列車の相互位置関係は先行列車が駅構内を出発し、列車の末尾が出発信号機を越えた時点で決まる。この時、後続列車が進行信号を見つつ、もっとも駅に接近できる地点を決定することにより、列車運転間隔が算出できる。具体的な駅近傍の線路配線及び信号機建植位置と列車運転間隔を定めるもっともクリティカルな列車の相互位置関係を図 5-16 に示した。

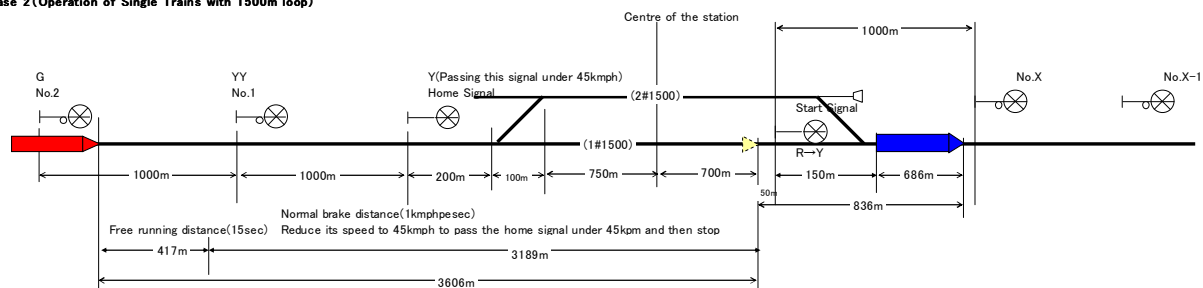
また検討の前提として次の条件を置く

- 1) 有効長 1,500m の場合において、1 編成の列車が停車する位置は DCT が停止する位置と同じとし、出発信号機の手前 50m とする。
- 2) 後続列車は先行列車が出発し、場内信号機に注意信号が出るタイミングで駅に進入してくるものとする。場内信号の指示速度は先行列車の位置の変化とともに、上位信号に変化するが、機関車はすでにブレーキを取っており、乗務員は場内信号機の信号機の制限速度 45km/h を念頭にホームに進入する。

Case 1 (Operation of Double coupled trains with 1500m loop)



Case 2 (Operation of Single Trains with 1500m loop)



Case 3 (Operation of Single Trains with 750m loop)

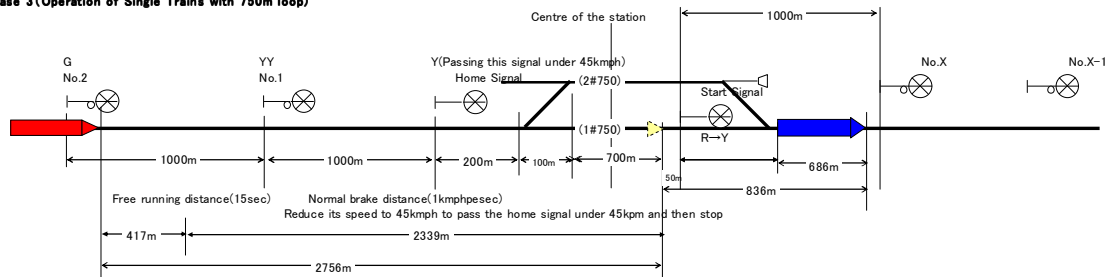


図 5-16 駅構内配線と列車運転間隔を決定する列車位置

具体的に試算した数値は表 5-25 に示したとおりである。

表 5-25 1 線着発における有効長と列車長毎の列車運転時隔(1 列車 5800t 牽引)

有効長	Single Train で運転した場合の列車運転間隔(A)	DCT で運転した場合の列車運転間隔(B)	比率(B/A)
1,500m(C)	8:27	9:08	108
750m(D)	7:15	—	—
比率(D/C)	117%	—	—

出典:調査団

この数値をみれば、DCT を運転する必要のない段階で有効長を 1,500m と長く設備すれば、列車運転間隔は 17% 延びることが判る。列車運転間隔は列車本数の逆数であるから、列車本数は 86% に減ずることが推定できる。

同様にして、DCT を運転する場合の列車本数は 750m の有効長で Single Train を運転する場合より、列車本数は 79% に減ずることが判る。

#### 5.4.6 コスト面からみた検討

##### (1) 車両コストの増加

貨車の追加コストについては、機関車、貨車とも 1 両当り 1 万ドル上昇 (新規調達価格の



20%up) する。なお、プロジェクトコストを算出する際は、貨車両数は 2013-14 年の開業時、所要両数の 7 割が既存車両の活用としている。ここではそれら車両 (4751 両) も改造を行う前提で貨車価格上昇コストを算出した。US\$ からルピーへの換算は 42.98Rs/US\$ を用いている。

**表 5-26 車両機能追加によるコスト**

年 度	単 位	2013-14	2018-19	2023-24	2028-29	2033-34
Bulk 用機関車両数	両	117	211	224	237	246
Bulk 用貨車両数	両	6,260	10,762	11,297	11,774	12,073
機関車価格上昇コスト	千 US\$	1,170	2,110	2,240	2,370	2,460
貨車価格上昇コスト	千 US\$	62,600	107,620	112,970	117,740	120,730
車両価格上昇コスト	Rs Crore	274.1	471.6	495.1	516.2	529.5

出典:調査団

1 Crore = 1 千万

**(2) 建設コストの増加**

DCT を運転するために追加的に必要となる設備投資は駅部の有効長延伸に伴う用地取得費及び線路設備工事費である。表 5-27 から表 5-29 までのデータをもとに算出した結果、Rs. 508.4Crore となった。

**表 5-27 駅数一覧**

	西	東		総計 (nos.)	備考
	複線	複線	単線		
Terminal Station	3	1	1	5	
Crossing Station	31	15	8 (36)	54	単線区間は、4箇所 のみを 1500m 対応
Junction Station	10	10	3	23	
合計	44	26	12	82	

出典:調査団

**表 5-28 1 Terminal / Crossing Station 当り増加数量・金額**

	単位	数量	単価(Rs.)	総額(Rs.)	備考
用地	ha	6.56	2,450,000	16,078,125	Compensation 含まず
盛土	m <sup>3</sup>	126,563	150	18,984,375	Jungle Clearance 含まず Tree Plantation 含まず
Rail	km	1.50	6,853,038	10,279,557	通常の Rail
バラスト	km	1.50	2,585,822	3,878,733	
枕木	km	1.50	2,702,951	4,054,427	
ブランケット	m <sup>3</sup>	11,250	500	5,625,000	
計				58,900,217	
箇所				59	
総額				3,475,112,774	

出典:調査団

**表 5-29 1 Junctiong Station 当り増加数量・金額**

	単位	数量	単価(Rs.)	総額(Rs.)	備考
用地	ha	6.56	2,450,000	16,078,125	Compensation 含まず
盛土	m <sup>3</sup>	120,938	150	18,140,625	Jungle Clearance 含まず Tree Plantation 含まず
Rail	km	2.25	6,853,038	15,419,336	通常の Rail
バラスト	km	2.25	2,585,822	5,818,100	
枕木	km	2.25	2,702,951	6,081,640	
ブランケット	m <sup>3</sup>	16,875	500	8,437,500	
計				69,975,325	
箇所				23	
総額				1,609,432,469	

出典:調査団

### (3) 運営コストの節減

運営コストとしては2編成を連結して運転するので、乗務員のコストが1/2となる。その節減額はDFC全体で年額Rs. 13.6Crore程度である(2023-24年。人件費単価はIRの平均値とした。表5-30参照)。その他経費、動力費、車両保守費の増減はない。一方、終端駅では列車どうしの解結作業が新たに発生するので、人件費の節減効果に多くは期待できない。

**表 5-30 乗務員人件費の節減額 (単位 Rs. Crore)**

年	2013-14	2018-19	2023-24	2028-29	2033-34
節減額	7.0	12.8	13.6	14.3	14.8

出典:調査団

1 Crore = 1 千万

### (4) 収入の増加

需要面ではDCTを必要としていない。従って、DCTの運転によって得られる収益増はない。

### (5) 全体としての評価

表5-31に2023-24年段階において、コストの増加とこれによって得られる運営経費の減少、収益の増加を示した。これをみれば、便益はコストを大きく下回っている。財務的には意味のない投資であることを示している。

なお、有効長1500mで建設し、通常の長さの列車を運転する場合、コストは建設コストの原価償却だけとなるが、便益はない。このため、この方式も財務的には意味のない投資である。

表 5-31 DCT 方式の採用による費用対効果

項目	2023-24 年	記事
車両調達減価償却費の増加	Rs 13.7Crore	36 年均等償却
建設コスト減価償却費の増加	Rs 12.7 Crore	40 年均等償却
コストの増加計	Rs 26.4 Crore	
運営費の減少(人件費)	Rs 13.6 Crore	
収益の増加	Rs 0 Crore	
便益の計	Rs 13.6 Crore	

出典:調査団

1 Crore = 1 千万

#### 5.4.7 まとめ

駅の有効長を 1,500m とする構想には次のような問題点がある。

- 1) 需要面からみて、少なくとも 2033-34 年まではその必要がない。
- 2) 列車運転面からみれば、1,500m 用設備で開業すれば、140 本/片道とされる路線容量が 14%低下する。また、構内が広がるので、日常の故障等での駅の対応に時間が掛かるようになる。
- 3) 車両面では高度なブレーキ機能を備えた機関車、貨車が必要となる。また貨車は特殊構造を持つことが必要となるので、運用が限定される。
- 4) 長大有効長で DCT を運転する場合、収益の増加は期待できない。コスト面からみれば、車両費の増加と長大有効長を建設するため、建設コスト上昇による減価償却費がある。乗務員の人件費の節減は期待できるが、他に入換えの増など人件費上昇要素もあり、多くは期待できない。便益はコストの 50%程度であり、財務的には意味のない投資となっている。

長大有効長に対し、通常の高さの列車を運転する場合、収入の増加、経費の減がない中で、減価償却費の増がある。財務的には意味のない投資となっている。

以上から、DFC 開業時から DCT 用設備を整備することは推奨できない。DFC 開業後の隣接用地取得は困難を極めると考える。このため、将来の可能性として、DCT 用用地を取得しておくことはありうる。

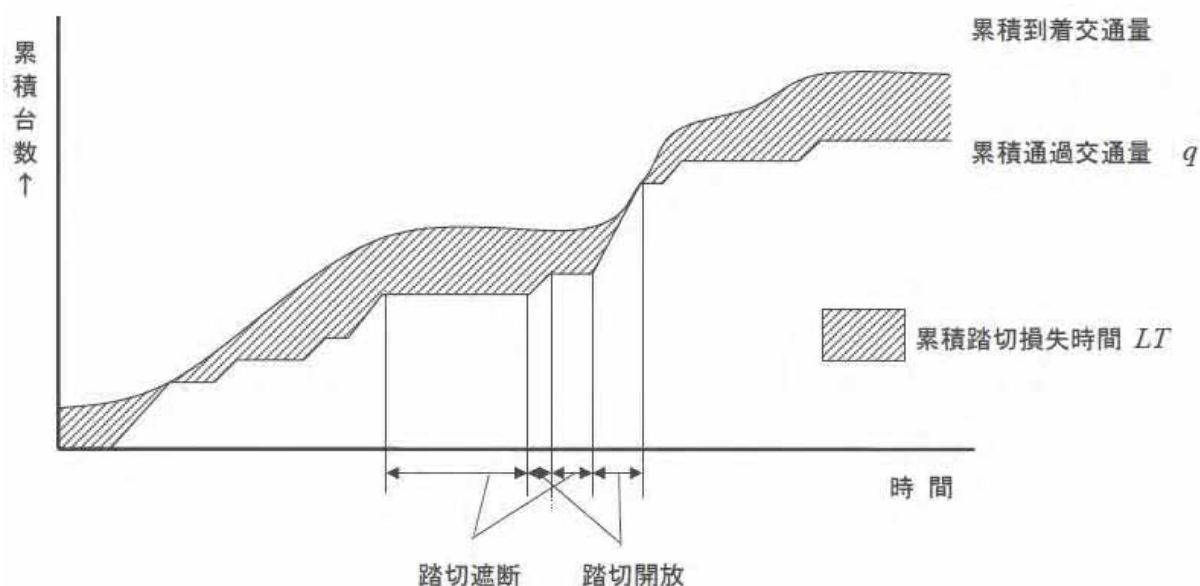
## 5.5 踏切改良方式の比較検討

### 5.5.1 踏切による経済的損失

#### (1) 踏切遮断による経済的損失の基本的な考え方

この節では、踏切による経済的損失を試算し、立体道路の建設費と比較することで、踏切改良方式選定にあたっての基準を提案する。

鉄道の踏切においては、列車の通過により踏切が遮断され、交差する道路側の交通には待ち時間が生じる。これが累積したものが、踏切遮断にともなう損失時間であり、以下の図 5-17 に示す斜線領域から計算される。



出典:費用便益分析マニュアル(連続立体交差事業編) 国土交通省

図 5-17 累積踏切損失時間の概念図

この図から明らかなように、一日交通量が同じでも到着の仕方によって損失時間は大きく異なる。交通の到着パターンは場所によって様々であるため、たとえ交通量が同じであっても経済的損失は個々の踏切で異なり、一般化することは難しい。また、車種によって時間価値が異なるため、経済損失の額は車種の構成にも大きく影響される。以下、踏切の経済損失を試算するが、このような制約がある事に留意する必要がある。

#### (2) 試算の方法、前提条件

自動車の到着パターンは、朝と夕方にピークがあるタイプの道路を想定し、時間帯別に図 5-18 の通りとする。各時間内では一様到着を仮定し、ある一時間の間に通過できない交通が生じた場合、その交通は次の一時間に繰り越すものとする。

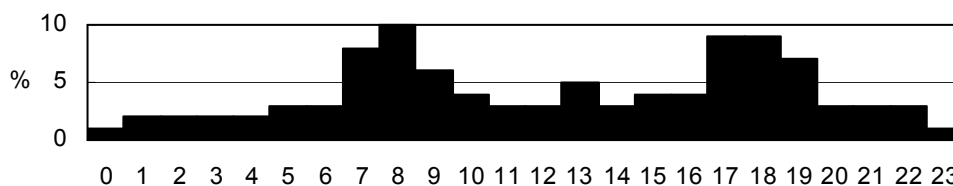


図 5-18 自動車の時間帯別到着パターン(調査団による想定)

車種の構成、時間価値、及び乗用車換算係数 (Passenger Car Unit : PCU) は表 5-32 の通りとした。これから PCU あたりの時間価値を Rs.106/hr.と設定した。

表 5-32 車種別の構成比、時間価値、PCU の想定値(調査団による想定)

	乗用車	バス	トラック
構成比	60%	10%	30%
時間価値(Rs/時)	110	582.2	80
PCU	1.0	2.0	2.0

踏切の交通容量は、2 車線道路は 1800PCU/時間/方向とし、4 車線道路は 3600PCU/時間/方向とした。自動車交通量は、年率 3%で増加すると想定した。

列車の方の条件は、開業時 (2013-14) に片方向 80 本/日から 2033/34 年に 230 本まで増加する (DFC+在来線) とし、時間あたり本数は単純に 24 で除した。1 列車通過あたりの遮断時間は 2 分として (踏切自動化を前提)、1 時間あたりの遮断時間を設定した (図 5-19)。

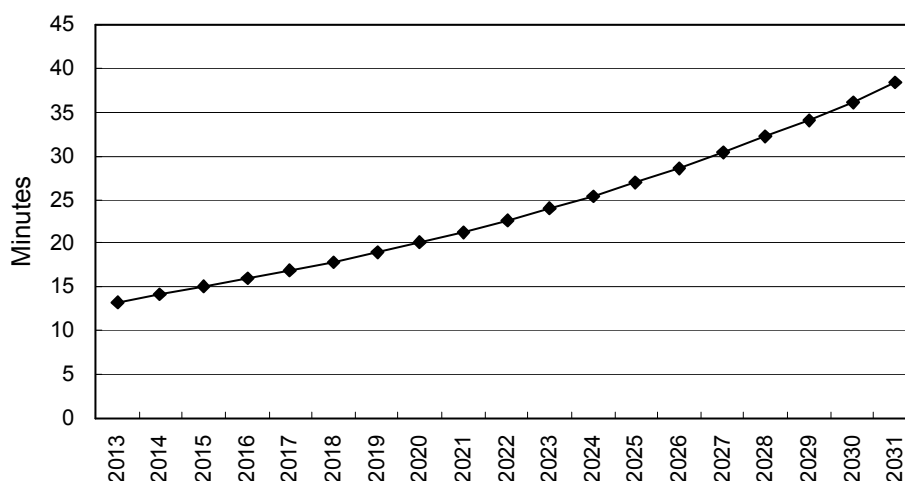


図 5-19 1 時間あたりの踏切遮断時間(調査団による推計値)

(3) 試算結果

年日数を 360 日、割引率を 12%として開業後 25 年間の損失時間にもとづく経済損失を計算すると、次ページのグラフのようになった。また、都市部を想定して一列車あたりの遮断時間が 3 分で、バスの割合が 20% (トラック 20%) のケースも計算した (図 5-20、図 5-21)。

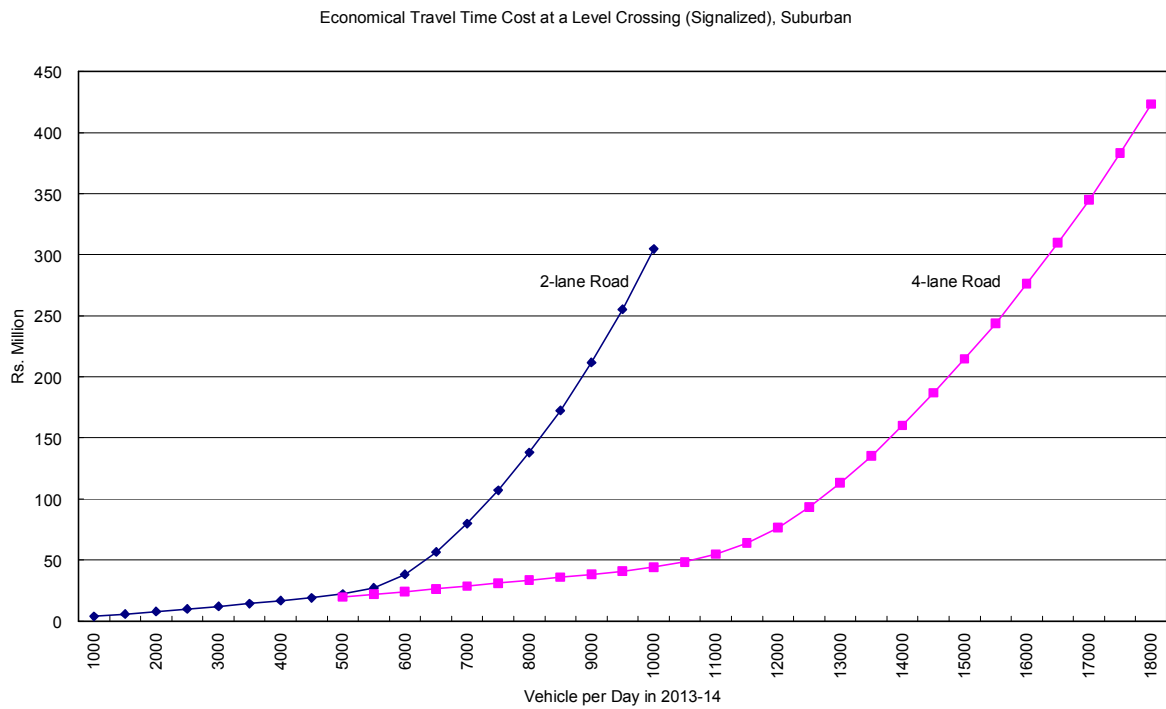
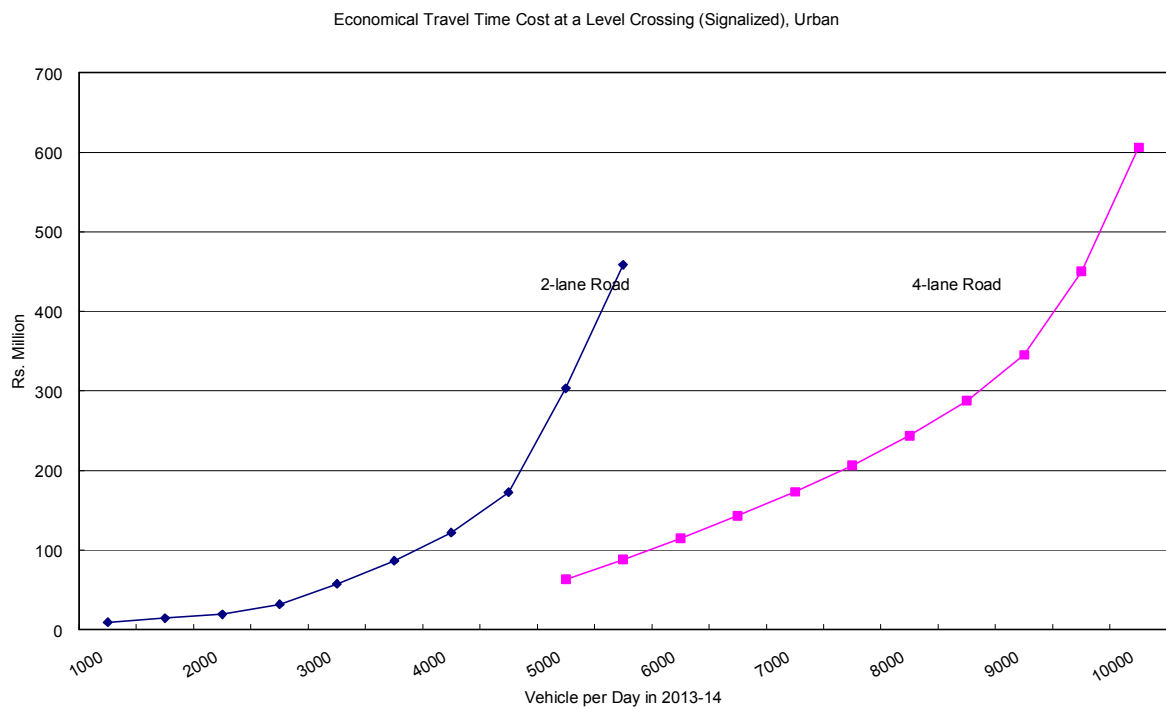


図 5-20 踏切の経済損失(都市間)



注 1: 2033 年以降は、列車本数の増加はないと想定した。  
注 2: 駅の近くでは、遮断時間が長くなるため、計算損失はより大きくなる。

図 5-21 踏切の経済損失(都市内)

#### (4) 結果の考察

都市間の ROB は概ね 2.5 億円（77 百万ルピー）のコストがかかる。図 5-20 でみると、2 車線道路の場合で一日約 7,000 台（2013-14 年度）以上の交通量がある場合には、ROB を建設する方が経済的に有利である。4 車線の場合は約 12,000 台である。

一方、都市部の場合、ROB 費用は概ね 7 億円（243 百万ルピー）であるが、図 5-21 でみると 2 車線道路の場合は一日約 5,000 台（2013-14 年度）の場合は ROB を建設する方が経済的に有利であり、4 車線の場合は 8,500 台程度である。

以上の数値は、在来線と DFC をあわせた列車本数が 2013-14 年度の一日 80 列車/片道から、2033/34 年度に 230 列車/片道となるケースである。DFC だけの区間や、在来線の列車本数が多い地点などでは違った結果となりうる。

#### (5) TVU 指標との関連性

インド側では TVU という指標を用いている。これは一日の交通量を用いて、

$$\text{TVU} = \text{列車本数} \times \text{道路側の自動車台数}$$

で定義されているもので、ROB 建設の判断として利用されている。この定義には一列車あたりの遮断時間が取り込まれていないため、踏切自動化などによる遮断時間短縮の効果は考慮されていない。本プロジェクトでは踏切自動化を提案しており、この場合にはインド側が用いている TVU よりも高い値の TVU を ROB 化の基準とする事が妥当である。

ところで、道路側で一様到着を仮定する場合、損失時間は『列車本数 × (一列車あたり遮断時間の二乗)』に比例する。このため、理論的には同じ時間損失に対して、一列車あたりの遮断時間を  $1/x$  倍に減らすと、列車本数を  $x^2$  倍増やす頃が可能である。このため、TVU は以下のように補正する事が合理的である。

$$\text{補正 TVU} = \text{TVU} \times (\text{Ta}/\text{Tb})^2$$

ここで、 Ta = 現在の一列車あたり遮断時間

Tb = 改良後の一列車あたり遮断時間

Ta = 6 分、Tb = 2 分（ただし都市間）とすると、踏切自動化の場合は、インド側の TVU を  $3^2=9$  倍にして評価する事が妥当である。すなわち、TVU=100,000（インド鉄道における ROB 化の判定基準）に対して、補正 TVU=900,000 が参考指標となる。

また、本節における経済計算から、TVU との関連指標を計算すると以下の通りである。

都市間：7,000 × 160 = 1,120,000 TVU (2013-14 年時点)以上は ROB 建設

都市部：5,000 × 160 = 800,000 TVU (2013-14 年時点)以上は ROB 建設

2005-06 年の交通量で判断する場合は、道路側交通量の年間伸び率を仮に 5%と想定すると、 $1/1.05^8=0.68$  より、上記の値はそれぞれ、

都市間：1,120,000 × 0.68 = 762,600 TVU

都市部：800,000 × 0.68 = 544,000 TVU

となる。

#### (6) ROB 建設地点の選定に関する提言

以上の計算は、非常に多くの仮説を含んだものであり、本来は個々の踏切について個別に評価を実施していくべきである。一方、本プロジェクトのように事業規模が巨大である場合には、大雑把な指標を設定して ROB 候補地を絞り込んでいく事が妥当である。このため、本節で計算された指標を以下のように設定して ROB 候補の踏切を選定する事を提言する。

2005-06 年度の TVU が 900,000 以上である踏切については、原則として ROB を建設するものとし、500,000 以上である踏切については ROB 建設の是非を個別に検討する。

### 5.5.2 自動踏切化の提案

#### (1) インドにおける踏切の現状

PETS-II 記載の既存線の踏切システムは次のとおりである。

- 1) 踏切は全て踏切警手があり、無人化された踏切はない。
- 2) 踏切警手と最寄り駅の間には通信設備、例えば磁石式電話で連絡をとる。
- 3) 警手は列車接近の情報を最寄り駅から受けて、遮断機を下ろす。
- 4) 遮断機は Swing Gate, Lifting Barrier, Leaf gate の 3 種類あるが、ほとんどは手動制御式である。
- 5) 遮断機が下りて、道路側が遮断されたことを、最寄り駅の出発信号機や中間の自動信号機に連動させている踏切と連動させていない踏切がある。

#### (2) 踏切の改善方策

列車および踏切通行の安全確保並びに列車の運行安定のために、次の踏切の改善方策を採用することが望ましい。改善方策の詳細並びに効果については Volume 4 Technical Working Paper Task2, 5-(7)に示す。

- 1) 安全対策として、DFC およびそれに並行する既存線の全踏切を列車側の信号機と連動させる
- 2) もし列車接近区間に信号機のない場合は、踏切信号機（動作反応灯）を設ける
- 3) 遮断機はモーター制御による自動遮断とし、遮断時間の短縮および連絡ミスによる無警報をなくす

#### (3) 自動踏切の意義

踏切の自動制御を行うことにより、次の効果が期待できる。また、自動化しても踏切警手を配置することとする。

- 1) 適正な警報開始時間の確保（手動による不必要な時間の待機をなくす。）
- 2) 踏切警手の負担軽減（交通整理に専念できる。）



3) 通信連絡ミスによる無警報を皆無にする。(特に臨時列車の運転時など)

自動化しても、踏切警手を配備することにより、次の効果を期待できる。

- 1) 列車接近時に警手の交通整理による速やかな道路側のクリアランス (列車速度の減速回避)
- 2) 異常時の緊急手配
- 3) 踏切保安設備へのいたずらや故意の妨害防止 (警手による警備)

自動踏切の機能の詳細については、Volume 4 Technical Working Paper Task2, 5-(7)参照のこと。

第 6 章 輸送計画

---

## 第6章 輸送計画

### 6.1 この章のねらい

この章の前半では機関車両数に代表される輸送諸元を算出する。

はじめに線路の勾配、曲線などの線路データと車両性能をもとに運転時分を算出する。続いて需要想定結果の一つである列車本数から列車運転間隔を算出する。次に運転時分、需要想定結果から算出された列車キロ及び列車運転間隔から輸送計画を策定する。代表的出力が列車ダイヤである。また需要想定結果と運転時分をもとに機関車両数や貨車編成両数を算出する。これら算出結果は経済・財務分析の基礎数値として提供される。

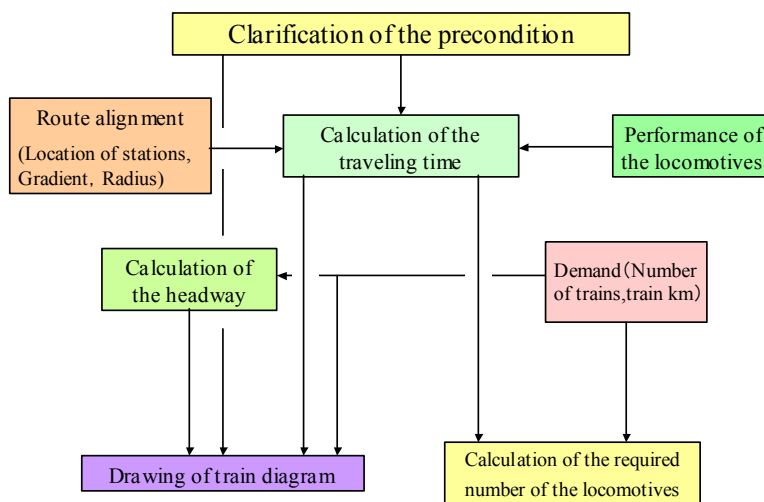


図 6-1 輸送計画作業のフロー

この章の後半、6.7 以降では、荷主の要求に応えるインターモーダル輸送を実現するための諸方策のうち、輸送計画面で対処すべきことがらを論ずる。

### 6.2 輸送計画の前提

1 日片道 140 本の運行を実現するため、DFC では表 6-1 に示す仕様を前提とする。

表 6-1 輸送計画の前提

項目	仕様	記事	
運転ルール	<ul style="list-style-type: none"> <li>この仕様によって、DFC の運転ルールを整備する。</li> </ul>		
列車	<ul style="list-style-type: none"> <li>原則として、すべての列車は最高速度 100km/h とする。</li> <li>Brake van は連結しない。</li> <li>機関車の付換えは 15 分以内に実施可能とする。</li> <li>DFC を運転する各列車は運転時刻表を持つ。</li> </ul>		
中間駅	複線区間	<ul style="list-style-type: none"> <li>車両故障や災害等の異常時における列車留置、車両抑止のため、30-40km 毎に Crossing station(CS)を設ける。この駅は列車の追い越しにも用いることができる。</li> <li>在来線との接続のため、Junction station (JS)を設ける。</li> </ul>	
	単線区間	<ul style="list-style-type: none"> <li>列車の行き違い駅は多くの列車が片荷であることを考慮し、列車行き違いの際は、空車を連結した列車が待避し、積荷列車は速度を落とさずに通過できる構造とする。</li> <li>CS 間隔は 10km 毎を標準とする。駅間隔はネットダイヤを組む上で駅間運転時分が均等とすることが効率的である。</li> </ul>	
ICD	<ul style="list-style-type: none"> <li>荷役線と列車着発線を分離した構造とする。荷役線は電化しない。(途中駅での荷役は架線の断路器を設けることにより、着発線荷役を可能とする。)</li> <li>1 段積みコンテナ列車(SSC)における着発折り返し時分は荷役時分、点検時分を含め 3.5 時間以内、2 段積みコンテナ列車 (DSC) では、5.5 時間以内とする。</li> </ul>		
乗務員	<ul style="list-style-type: none"> <li>貨物列車の運転はワンマン運転とする。</li> <li>乗務員の交代は 2 分とする。</li> </ul>		
機関車	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンテナ列車(1 段積み=3100t 牽引、2 段積み 3,500t 牽引)、一般貨物列車(5,800t 牽引)とも平坦区間において出発から 2,000m 地点に達するまでの時分は 3.5 分以内とする。</li> <li>5%区間において均衡速度は 65 km/h 以上とする。</li> </ul>	5800t 牽引: 8 軸 9600HP 機関車 3500t 牽引: 6 軸 7200HP 機関車	
貨車	<ul style="list-style-type: none"> <li>常用ブレーキ使用時における空走時分は最大両数編成において、15 秒以内とする(現行レベル)。</li> <li>平坦区間において減速度 1.0 km/hps で停止できる常用ブレーキ性能を保有する(現行レベル)。</li> </ul>		
信号	<ul style="list-style-type: none"> <li>駅近傍においては 1km 間隔で、その他の区間は 1.5km 間隔で信号機を建植する。必要により、建植間隔をさらに小さくする。</li> <li>中央で一括管理可能な運行管理装置を設ける。</li> <li>東西 DFC ごとのシステムとし、指令室は同じ部屋に置くこととする。</li> </ul>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>最大勾配は 5%とする。最小曲線半径は 700m とする。</li> </ul>		
線路	<ul style="list-style-type: none"> <li>列車が通過する可能性のある分岐器の分岐側通過速度は 60km/h 以上とする。</li> <li>列車通過がないループの分岐器は分岐側通過速度を 45km/h 以上とする。</li> </ul>	16 番分岐器 12 番分岐器	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>異常時の列車の駅抑留を考え、駅の総ループ数は列車の同時在線本数以上とする(DFC は在来線と比べ、駅数が少ないので注意を要する)。</li> <li>線路保守間合いは 1 日あたり各方向 4 時間を確保する。</li> </ul>		
電力	<ul style="list-style-type: none"> <li>140 本運転時において、各列車の運転に支障を来さない変電所容量とする(輸送需要に応じて段階的整備を行う)。</li> </ul>		

出典:調査団

### 6.3 段階整備と列車キロ

需要想定では年度毎の輸送需要(一般貨物: ton-km、コンテナ: TEU-km)とともに列車キロを算出している。時点別開業区間とともに、これら列車キロを表 6-2 と表 6-3 に示した。

表 6-2 東回廊の時点別開業区間と年間列車キロ

年度	Ludhiana-Khurja	Khurja-Mughar Sarai	Mughar Sarai-Sonnagar	列車キロ(百万 km)	
	第 1 期-B 整備区間	第 1 期-A 整備区間	第 2 期整備区間	一般	コンテナ
2013-14	—	○	—	18.6	0.4
2018-19	○	○	○	37.6	0.8
2023-24	○	○	○	39.3	1.0
2028-29	○	○	○	41.1	1.1
2033-34	○	○	○	42.0	1.2

出典:調査団

注) 第 1 期-A 整備区間以外は 2015-16 年開業予定

表 6-3 西回廊の時点別開業区間と年間列車キロ

年度	Dadri-Rewari	Rewari-Vadodara	Vadodara-JNP	列車キロ(百万 km)	
	第 2 期整備区間	第 1 期-A 整備区間	第 1 期-B 整備区間	一般	コンテナ
2013-14	—	○	—	10.2	14.8
2018-19	○	○	○	15.3	45.3
2023-24	○	○	○	16.7	67.1
2028-29	○	○	○	18.2	88.2
2033-34	○	○	○	19.2	101.3

出典:調査団

注) 第 1 期-A 整備区間以外は 2015-16 年開業予定

## 6.4 列車の運転時分査定

インド国鉄 (IR) 管轄の路線は、大部分が平坦な地域にあり、大きな縦断勾配区間は無く、小さな曲線区間もほとんど見られない。このため、IR では厳密な到達時分査定への認識が無く、縦断勾配や曲線区間を反映した駅間毎の運転時分査定はこれまで行われてこなかった。しかし、今回は IR に時間を厳守する意識を持たせる意味で、調査団で作成した DFC 用の車両性能と DFC 路線計画データをもとに運転時分査定を行うこととした。

### 6.4.1 査定的前提

#### (1) 線路

調査団で作成した線路データ（勾配、曲線の大きさと始点、終点のキロ程）を使用する。

#### (2) 信号

調査団で想定した線路計画を前提とする。駅近傍信号については図 6-2 の通りとする。

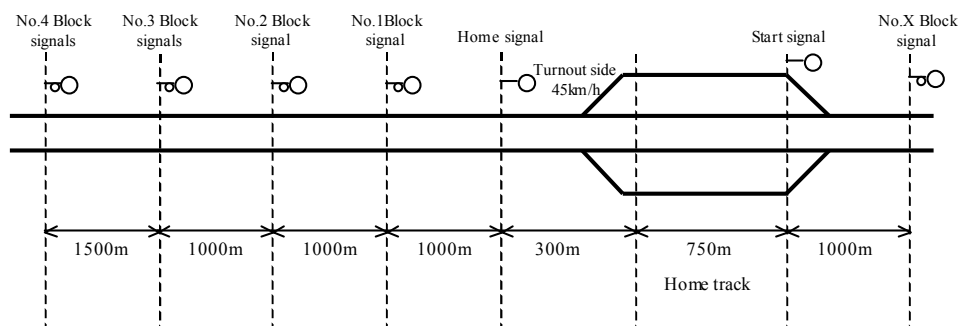


図 6-2 駅近傍の信号建植

### (3) 車両性能

車両性能については、表 6-4 の通りとする。

**表 6-4 DFC 用機関車の性能**

牽引機関車	一般貨物用	コンテナ用	
		DSC (ウエルタイプ)	SSC
牽引トン数	5800t	3500t	3100t
軸数	8 軸	6 軸	6 軸
自重	200t	150t	127.8t
出力	12,000Hp	9,000Hp	6,000Hp
最高速度	100km/h	100km/h	100km/h
2000m までの到達時分	210 秒以内	210 秒以内	210 秒以内
常用 ブレーキ	空走時分	15 秒以下	15 秒以下
	平均減速度	1(km/h)/s 以上	1(km/h)/s 以上

出典：調査団

### (4) その他運転時分

乗務員は JS で交代する。各 JS での停車時分は 2 分とする。

#### 6.4.2 列車の運転時分

運転時分の計算は運転曲線を作成して算出する。運転曲線を『Volume 4 Technical Working Paper Task2, 6』に示す。また主要区間の運転時分を表 6-5 と表 6-6 に示す。

**表 6-5 東回廊運転時分(12000HP-58Wagons-5800t)**

駅名	駅中心間程 (km)	区間距離 (km)	区間 時分	停車 時分	累計時分 (発車時)	区間平均速度 (km/hr)
Sonnagar	549					
Ghanj Khwaja	668	119	1:17:30	02:00	1:19:30	92.1
Mughal Sarai	676	8	0:08:15	02:00	1:29:45	58.2
Jeonathpur	684	8	0:08:00	02:00	1:39:45	60
Chheoki	812	128	1:37:15	02:00	3:02:45	78.7
Manauri	845	33	0:24:15	02:00	3:29:00	82.6
Prempur	997	153	2:02:30	02:00	5:09:15	74.7
Bhaupur	1,049	52	0:36:30	02:00	5:47:45	85.5
Dhaud Khan	1,333	283	3:00:00	02:00	8:49:45	94.3
Khurja	1,384	52	0:35:45	02:00	9:27:30	86.9
Kalanaur	1,615	231	3:03:30	02:00	11:57:15	75.5
Sirhind	1,725	110	1:15:30	02:00	13:14:45	87.4
Dhanmdari Kalan	1,778	53	0:36:30	02:00	13:53:15	87.1
Ludhiana	1,789	10	0:10:15		14:03:30	61.4
合計		1,240	13:39:30	20:00	13:59:30	90.8

出典：調査団

**表 6-6 西回廊運転時分(12000HP-58Wagons-5800t)**

駅名	駅中心キロ程 (km)	区間距離 (km)	区間 時分	停車 時分	累計時分 (発車時)	区間平均速度 (km/hr)
JNPT	1					
Vasai Road	79	78	0:57:30	02:00	0:59:30	78.7
Gothangam	326	247	2:37:00	02:00	3:38:30	93.2
Makarpura	420	94	1:01:45	02:00	4:42:15	88.5
Sabarmati	560	140	1:30:30	02:00	6:14:45	90.8
Mahesana	611	51	0:35:15	02:00	6:52:00	82.1
Palanpur	703	92	1:01:00	02:00	7:55:00	87.9
Marwar	917	214	2:16:45	02:00	10:13:45	92.6
Phurela	1,139	222	2:23:15	02:00	12:39:00	91.6
Rewari	1,352	213	2:16:30	02:00	14:57:30	92.3
Dadri	1,465	112	1:13:15		16:10:45	92.1
合計		1,464	15:52:45	0:18:00	16:10:45	90.5

出典:調査団

- 1) 表 6-5 及び表 6-6 に示された運転時分は機械的に算出された数値であり、余裕分を見込んでおく必要がある。ここで、実際の運用の際には、途中駅荷役が行われることも考慮し、今回の列車ダイヤ作成・車両数算出などで使う速度は、約 20%の余裕を見込むこととし、DFC での平均速度を表 6-7 に示す。
- 2) 現状におけるフィーダー線内の貨物列車の走行速度は、鉄道情報センター(Centre for Railway Information System : CRIS) からの情報をもとに平均走行速度を推定した(次表参照)。使用したデータは 2005-2006 年 1 年間の実績データのうち、雨期である 6 月から 9 月までの 3 ヶ月分を除いたデータである。ただし、データとして不完全なものを除いた。

**表 6-7 貨物列車の平均時速**

種別	距離帯	表定速度(時速)	サンプル列車数
コンテナ列車	1,000 キロ以上	28.1	1,563
	800 キロ以上 1,000 キロ未満	15.5	138
	500 キロ以上 800 キロ未満	17.5	196
	500 キロ未満	9.2	215
一般貨物	1,000 キロ以上	19.8	3,107
	800 キロ以上 1,000 キロ未満	17.2	492
	500 キロ以上 800 キロ未満	16.6	1,666
	500 キロ未満	26.2	4,718

Source: CRIS 統計

- 3) DFC 開業後、フィーダー線から DFC に直通する列車の表定速度はコンテナ列車および一般貨物列車に添乗して得られた数値(表 6-8)をもとに作成した。これらの列車の運転時分は現行の貨物列車の平均速度よりかなり高い。これら列車は現行ダイヤでも優先的に運転されているためと考えられる。DFC 直通列車はこれら優先的

な水準で運転されるものと想定した。なお、この実測値には両端の駅の停車時分が含まれていないので、1 桁目をカットした数値をフィーダー線における表定速度とした。

**表 6-8 コンテナ列車と石炭列車の実測データ**

	コンテナ列車	石炭列車
調査日	2007 年 1 月 31 日	2007 年 5 月 30 日
列車の概要	WAG-7 でワゴン車 45 両、2,035t 牽引。最高速度 100km/h	WAG-7 で Wagon 58 両、4,729t 牽引。最高速度 75km/h
発駅	Vasai Road (12:23 発)	Gomoh (8:48 発)
着駅	Surat(16:07:30 着)	Gaya(12:42 着)
所要時分	3 時間 45 分	3 時間 54 分
駅間 km	215.15km	169.49km
表定速度	57.5km/h(この数値には両端の駅での停車時分が含まれていない)	43.5km/h(この数値には両端の駅での停車時分が含まれていない)
記事	平坦区間では最高速度は 88-90km/h 程度しか出なかった。下り勾配において、ようやく 96km/h の速度に達した。	

出典:調査団

**表 6-9 列車の表定速度**

線 区	一般貨物列車	コンテナ列車
DFC	70km/h	70km/h
フィーダー線(現状)	20km/h	30km/h
フィーダー線(DFC 直通列車)	40km/h	50km/h

出典:調査団

## 6.5 列車計画の策定

### 6.5.1 計画の前提

「6.2 輸送計画の前提」で掲げたもののほか、以下の通りとする。

- 1) 列車の最高速度は線区最高速度の 2%ダウンとして計画する。
- 2) 西回廊で列車回数が、線路容量(140 本/片道、維持管理時間含)を超える場合、DSC 列車はウェルタイプワゴンで運行することとする (1 DSC 列車あたりの搭載能力=1 SSC 列車の 1.5 倍)。
- 3) コンテナ列車と一般貨物列車では特に発車して、最高速度に達するまでの運転時分に差がある。両者の最高速度は 100km/h と同じであり、停車駅も少ない。このため、列車運転時分を共用とし、シンプルな列車時刻表とする。具体的には性能の低い一般貨物列車の列車運転時分を用いて両者の列車運転時刻を策定する。
- 4) 列車の運転速度は、次表の数値(DFC)を用いるものとする。
- 5) 曲線半径の速度制限は、IR の一般規則には定められていない。このため日本における速度制限と同様の考え方で曲線部の速度制限を表 6-10 のとおり定めた。詳細は *Volume 4 Technical Working Paper Task2, 5-(2)* に示す。



**表 6-10 曲線部における速度制限**

半径		速度制限 (km/h)		
In Degree	In meter	DSC on flat	DSC on well	SSC
2.5	699	85	95	
3.0	582	75	85	90
4.0	437	65	75	85
6.0	291	55	60	70

出典: 調査団

- 6) 最急勾配は 5% であるので、下り勾配の速度制限はないものとする。
- 7) 先行列車と後続列車が同じ番線に着発すると、先行列車と後続列車の運転間隔が延びる。このため、このような列車運転は計画段階では列車運転間隔にゆとりがある場合しか行わないこととする。
- 8) その他、駅部での列車続行時隔は表 6-11 の通りとする (15 秒単位切り上げ)。

**表 6-11 駅部での列車続行時隔**

ケース	時隔(秒)
先行列車が発車後、隣接副本線から後続列車が発車	3 分 30 秒
先行列車が到着後、隣接副本線に後続列車が到着	2 分 45 秒
先行列車が通過後、停車列車が発車	2 分 15 秒
先行列車が通過後、後続列車も通過	2 分 30 秒
先行列車が副本線に進入後、後続列車が本線を通過	1 分 45 秒

- 9) 24 時間 (保守間合いを取るなので、実質 20 時間)、均等運転間隔で列車運転を計画する。有効輸送時間帯の概念は持ち込まない。
- 10) 機関車は終着駅に到着後、列車から解放される。電気機関車は行き先地で仕業検査を行う。

### 6.5.2 列車運転間隔の設定

輸送需要で算出された区間別列車本数をもとに列車運転間隔を設定する。線区の最小列車運転間隔は最大列車本数が運転される区間の列車本数で決まる。

表 6-12 中、網掛けの区間が列車運転間隔を決定する区間である。西回廊では 2028 年以降で列車本数が 140 本を超えている区間がある。DSC 列車を運転し、列車本数を 140 本に納めた場合の列車本数の内訳を表 6-13 に示した。

$$\text{列車運転間隔(分)} = 20 \text{ 時間} \times 60 \text{ 分} / \text{最大列車本数}$$

列車本数が 140 本を超える区間については DSC 化するものとして、140 本で計算した。算出結果を表 6-14 に示す。

表 6-12 年度別区間別列車運転本数(上下平均)

区 間		2013-14	2018-19	2023-19	2028-28	2033-34
Sonnagar Jn	Mughal Sarai Jn		82.25	86.6	90	91.7
Mughal Sarai Jn	Cheoki	56.4	73.35	77.45	81.3	83.4
Cheoki	Prempur	57.9	81.1	83.3	85.65	86.9
Prempur	Bhaupur	59.0	84.9	88.05	91.4	93.2
Bhaupur	Tundla	63.3	93.05	97.05	101.2	103.5
Tundla	Daud Khan	52.0	83.1	87.1	91.35	93.7
Daud Khan	Khurja Jn	49.2	79.95	83.6	87.3	89.4
Khurja Jn	Dadri		45.2	47.4	49.8	51.1
Khurja Jn	Kalanaur		30.1	31.5	33	33.7
Kalanaur	Raipura Jn		26.35	27.9	29.6	30.6
Raipura Jn	Shirhind2		25.35	27.85	30.15	31.3
Shirhind2	Ludhiana Jn		25.35	27.85	30.15	31.3
JNPT	Vasai Road Jn		43.85	59.75	72.75	79.8
Vasai Road Jn	Gothangam		61.25	78.7	93.5	101.6
Gothangam	Vadodara		65.9	83.8	99	107.4
Vadodara	Ahmedabad	31.5	60.65	77.55	91.95	99.9
Ahmedabad	Palanpur Jn	35.1	57.95	78.15	95.6	104.5
Palanpur Jn	Marwar Jn	52.2	83.15	116.3	151.15	174.1
Marwar Jn	Phulera Jn	52.3	82.85	115.6	150.25	173.1
Phulera Jn	Rewari Jn	43.7	75.2	108	142.65	165.6
Rewari Jn	Pirthala		26.8	39.9	53.3	62.1
Pirthala	Dadri		8.45	11.75	15.15	17.3
Pirthala	TKD		18.4	28.15	38.2	44.8

出典：調査団

表 6-13 SSC 列車では線路容量を超える場合の DSC 列車本数の算出

	列車タイプ	2028	2033	記 事
A	需要想定で得られた列車本数	151	174	需要想定では SSC 列車で換算している。 A=B+C
B	コンテナ列車本数内訳	116	137	同上
C	Bulk 列車本数内訳	35	37	
D	DSC 列車本数	22	68	B= 1.5D+E C = 140- (D+E) 貨車はウエルタイプを想定。SSC と比較し、150%搭載可能
E	SSC 列車本数	83	35	
	計	140	140	C+D+E

出典：調査団

表 6-14 列車運転間隔

単位：分

区 間		2013	2018	2023	2028	2033
Sonnagar Jn	Dadri	18	15	12	10	10
Khurja Jn	Ludhiana Jn	—	30	30	30	30
JNPT	Dadri	20	14	10	8	8

出典：調査団

### 6.5.3 列車ダイヤの作成

以上のデータをもとに列車ダイヤを作成する。結果は *Volume 4 Technical Working Paper Task2, 6* に示す。

## 6.6 機関車両数等の算出

機関車両数の算出は、実際には機関車運用図表を作成して算出する。今回の場合、列車がほぼ均等に運転されることから、機関車の走行時分と折り返し間合い時分を算出し、その合計時分から所要機関車両数を算出する。

### 6.6.1 機関車運用の前提

- 1) DFC 用機関車はすべて新製と仮定した。
- 2) フィーダー線が非電化の場合は境界駅で機関車をディーゼルから電気に交換する。フィーダー線が電化の場合には電気機関車は DFC とフィーダー線を直通することが可能である。この場合、直通する機関車性能は共通とする。
- 3) 実際の機関車運用においては、上記のように DFC からフィーダー線に直通運転することが考えられるが、今回は DFC での投資総額を決定することが目的であるので、機関車は DFC 線内運用と仮定する。
- 3) 需要予測で得られた列車 km を 1 日あたりの列車 km として換算した数値を表 6-15 に示す。波動を考慮し、1 年を 330 日として換算した。

表 6-15 1 日あたりの列車 km

年度	東回廊		西回廊	
	一般用	コンテナ用	一般用	コンテナ用
2013-14	56,461	1,145	31,057	44,949
2018-19	113,824	2,492	46,334	137,172
2023-24	119,228	2,929	50,513	203,266
2028-29	124,476	3,333	55,260	267,340
2033-34	127,298	3,535	58,305	307,071

出典：調査団

- 4) 列車の平均速度は、前表 6-7（DFC）を用いる。
- 5) 西回廊では 2028－29 年には列車本数は線路容量 140 本を超える。このため、1 部列車を DSC で運転する必要が生ずる。この方式としては次の 2 通りを算出した。
  - (a) 原則として SSC で運転し、SSC では線路容量を超える場合のみ DSC 列車で運転する

輸送品質や輸送頻度を考えると、SSC 列車をできるだけ多く運転することが好ましい（Volume 3 タスク 2 第 5 章 5.1 コンテナ列車の輸送方式 参照）。このため、車両の購入計画はこの方式に基づくこととする。

DSC、SSC 列車それぞれの本数の算出する際は、表 6-13 に示した方法を用いた。

(b) DFC 線区外に直通運転する列車は SSC としその他列車は DSC とする。

この場合、Gujarat の各港湾から DFC に乗り入れる列車は DFC 線区内を運転する列車とみなした。(この比率は 30%とした。表 6-16 参照)

この方式による車両数算出結果は、Volume 3 タスク 2 第 5 章 5.1 コンテナ列車の輸送方式において、各種方式の比較を行うために用いる。この方式は DSC 列車の運転本数が増えるので、地上設備の減価償却費負担を計算する場合、DSC 列車にとって有利な条件となるからである。

**表 6-16 DFC から在来線区間に直通する列車の比率(2004-05 年)**

発 駅		JNP	Gujarat	計
着 駅	DFC 線区内 (A)	5,021	1,315	6,336
	DFC 線区外 (B)	1,774	622	2,396
	計 (C=A+B)	6,795	1,937	8,732
比 率 (B/C)		26	32	27

出典: 調査団

- 6) 一般貨車牽引(5800t)、SSC 貨車 (3100t) DSC 貨車 (3500t) それぞれに対応した機関車を充当する。
- 7) 月次検査等の検査対応、異常時の車両交換を考慮し、機関車の予備率は 10%とする。
- 8) 行き先地での滞泊時分は平均 8 時間とする (入換え、仕業検査時分を含む)

### 6.6.2 所要機関車両数

以上の前提に基づき、機関車両数の算出を行った結果を表 6-18 及び表 6-19 に示す。

なお、算出方法は以下の通りである。

所要機関車両数=(1 日あたりの列車 km(表 6-15)/DFC 内の平均走行速度(表 6-7)+

DFC 線内運転列車本数(表 6-17 1 日あたりに換算)×

折り返し時間(8 時間))/24 時間×110%

**表 6-17 DFC 線内運転年間列車本数(上下計)**

種別		2013-14	2018-19	2023-24	2028-29	2033-34
東回廊	バルク	19,174	36,261	38,784	41,082	42,358
	コンテナ	776	1,800	2,153	2,467	2,630
西回廊	バルク	7,496	10,712	11,550	12,497	13,101
	コンテナ	16,840	39,486	61,133	83,512	98,119

出典: 調査団

**表 6-18 年度別機関車所要両数(a)**

年 度	東回廊		西回廊			計		
	一般用	コンテナ用 6000HP	一般用	コンテナ用		一般用	コンテナ用	
				6000HP	9000HP		6000HP	9000HP
2013-14	80	2	37	49	0	117	51	0
2018-19	156	4	55	134	0	189	138	0
2023-24	165	5	59	202	0	224	207	0
2028-29	173	5	64	192	51	237	197	51
2033-34	178	6	68	79	154	246	85	154

出典：調査団

**表 6-19 年度別機関車所要両数(b)**

年 度	東回廊		西回廊			計		
	一般用	コンテナ用 6000HP	一般用	コンテナ用		一般用	コンテナ用	
				6000HP	9000HP		6000HP	9000HP
2013-14	80	2	37	15	23	117	17	23
2018-19	156	4	55	41	63	189	45	63
2023-24	165	5	59	61	94	224	66	94
2028-29	173	5	64	84	129	237	89	129
2033-34	178	6	68	94	145	246	100	145

出典：調査団

車両の購入にあたっては、少なくとも2028-29年以降、DSC列車の運転が必要となることを考慮する必要がある。購入する機関車はSSC及びDSC列車用機関車とも9000HP機関車とする。SSC列車は6000Hp機関車で牽引可能であるが、車種を共通化することにより、購入コストの減、運用計画の容易化、さらには列車ダイヤ乱れ時の回復余力の確保が可能となるからである。以上の前提に基づく年度別車両購入計画を表6-20に示す。

表 6-20 年度別機関車所要数及び調達数

年 度	東回廊				西回廊			
	バルク用		コンテナ用		バルク用		コンテナ用	
	調達数	所要数	調達数	所要数	調達数	所要数	調達数	所要数
2011-12	8	8	2	2	2	2	8	8
2012-13	30	38		2		2	30	38
2013-14	42	80		2	35	37	11	49
2014-15	16	96	1	3	4	41	17	66
2015-16	15	111		3	4	45	17	83
2016-17	15	126	1	4	3	48	17	100
2017-18	15	141		4	4	52	17	117
2018-19	15	156		4	3	55	17	134
2019-20	2	158	1	5	1	56	14	148
2020-21	2	160		5	1	57	14	162
2021-22	2	162		5	1	58	13	175
2022-23	2	164		5		59	14	189
2023-24	1	165		5	1	59	13	202
2024-25	2	167		5	1	60	14	216
2025-26	2	169		5	1	61	13	229
2026-27	1	170		5	1	62	13	242
2027-28	2	172		5	1	63	4	246
2028-29	1	173		5	1	64		243
2029-30	1	174	1	6	1	65		242
2030-31	1	175		6	1	66		240
2031-32	1	176		6	1	67		238
2032-33	1	177		6	1	68		236
2033-34	1	178		6		68		233

出典：調査団

### 6.6.3 貨車所要両数

DFC で使用される貨車の両数の算出は基本的に機関車の所要両数算出の場合と同様とした。ただし、貨車は在来線で用いてきた車両も使用できるので、開業時においては所要両数の 7 割は既存車両と仮定して、所要両数を算出した。貨車の編成両数は一般貨物列車が 58 両、SSC 列車は 45 両、DSC 列車は 34 両とした。算出結果を表 6-21 に示す。

なお、在来線で用いてきた貨車については耐用年数が来たものから更新する。詳細については第 12 章を参照されたい。

表 6-21 年度別貨車所要両数

年 度	東回廊		西回廊			計		
	一般用	コンテナ用 SSC 用	一般用	コンテナ用		一般用	コンテナ用	
				SSC 用	DSC 用		SSC 用	DSC 用
2013-14	4,640	90	2,146	2,205		6,786	2,295	
2018-19	9,048	180	3,190	6,030		12,238	6,210	
2023-24	9,570	225	3,422	9,090		12,992	9,315	
2028-29	10,034	225	3,712	8,640	1,836	13,746	8,865	1,836
2033-34	10,324	270	3,944	3,555	5,544	14,268	3,825	5,544

出典：調査団

## 6.7 貨物列車時刻表の導入

### 6.7.1 列車時刻表導入の意義

インド国鉄では貨物列車時刻表を採用していない。DFC はコンピュータ制御システムを前提で実施する関係から貨物列車用時刻表を採用することは必須条件となっている。インターモーダル輸送改善の観点からは在来線から DFC に直通する列車は在来線区間においても貨物列車用時刻表の導入が必須である。

その意義としては次のことがらが挙げられる。

#### 1) コンピュータ制御システムの実施

DFC ではコンピュータ制御システムを導入することとなっている。列車運転時刻表は、コンピュータ制御システムでは基本となる最初のデータとしてその導入が必須である。

#### 2) 顧客サービスの向上

「Volume 2 タスク 0&1 第 9 章 インターモーダル輸送戦略」で指摘されているように、現在の鉄道経由のインターモーダル輸送は時間厳守の意識に乏しい。現代物流においては致命的となるこの欠陥を克服しなくてはならない。このため、鉄道経由のインターモーダル輸送の核となる鉄道輸送において、列車運転時刻表及びこれをベースとしたコンテナ輸送予約システムの導入が必須となっている。

DFC 列車の多くはフィーダー線からの直通運転列車である。述べたインターモーダル輸送の質的向上のためにはフィーダー線を含めて、貨物列車時刻表が実現していなくてはならない。

#### 3) 高密度運転の実現

列車時刻表の導入は、線路容量向上に欠くことのできない方策の一つである。

列車時刻表の作成自体で線路容量が向上する訳ではないが、24 時間に走行できる列車本数が決まっている以上、列車が遅れて来れば、それだけ運転可能な列車本数は少なくなる。列車時刻表は高密度運転を行う上で列車運転を管理するツールとして必要と考えるべきである。

#### 4) 機関車の能率的使用

現在、IR における貨物列車用機関車は貨物列車時刻表がないことを前提に組み立てられており、それなりに効率的な運用となっている。しかし、貨物列車運転時刻表があれば、さらに効率的に運用できる場合がある(図 6-3 参照)。

これに類似した例として、フィーダー線から DFC に直通する列車の機関車の付け換えがある。RITES の PETS-II では機関車の付け換えが 2 度以上ある列車は DFC を経由しないという前提を設けている。機関車の付け換え時分を短縮するというねらいは理解できるが、電化区間ではできるだけ電気機関車を用いることが効率的である。ここまで制約を設ける理由は貨物列車用時刻表がない中で機関車運用を分割すれば、大きなロスを生ずる懸念があるためと考えられる。

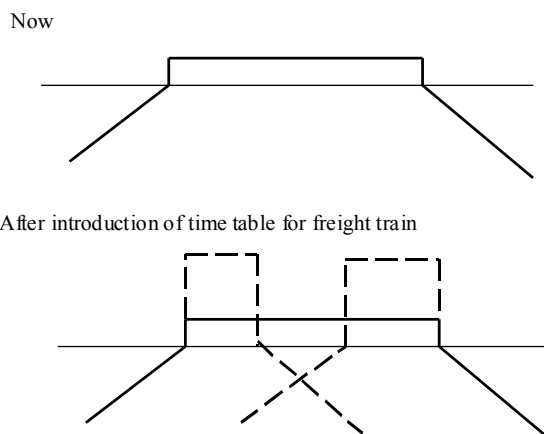


図 6-3 機関車運用効率向上のイメージ

6) 効率的な乗務員運用

乗務員運用は、貨物列車がいつ来ても対応できる勤務制度を構築している。乗務員は高い手当てを支給されていることから、誇りをもって、この勤務に対応している。しかし、この勤務制度は予定が立たない不規則勤務であるため、一ヶ月間または一週間の勤務予定を示すことのできる勤務体系を実現するべきである。

6.7.2 時刻表導入に対する懸念の解明

MOR 関係者は、貨物列車に列車運転時刻表を導入したとしても、在来線の貨物列車運行は不確実性が高いことから、時刻表どおり運転することが困難であるとの懸念を持っている。これらについては日本の経験から、以下の考え方を取り入れることを提案したい。

1) 故障が多い。乗客のいたずらも多い。

貨物列車に列車運転時刻表を導入すること自体は故障や、乗客のいたずらを増加させる要因ではない。むしろ、減少に向かっている足掛かりとなる。

故障が多く、乗客のいたずらも多い中で、貨物列車に列車運転時刻表を導入すると、これまで明らかとなっていなかった貨物列車の遅延状況が明確となる。鉄道運営側として困ることは、これにより、利用者や世論からの批判が殺到することであると推察される。質の高いインターモーダル輸送を実現していくためには、故障や乗客のいたずらは減少させていかねばならない。こうした事実を覆い隠さず、真正面から改善を行っていくことが建設的である。

なお、現在の列車運行では線路容量以上に列車を運行するため、貨物列車を途中駅で長時間滞留させている。列車時刻表を設定する際は、この長時間滞留をそのまま停車時分として扱うこととなる。この滞留を本来必要のないものと考えれば列車遅れとなるが、現行設備では止むを得ないものと考えれば、列車時刻として設定することは当然である。

2) 荷役を人力に頼っているため、荷役時間が不確実である。

人力荷役の場合、8 時間の労働時間が経つと、仕事が途中であっても帰ってしまう



という問題があるとのことである。これは労働賃金の問題として解決できると考える。また機械化しようにも貨車の入り口が狭く、フォークリフトが入らないという問題があるとの指摘もあった。これは機械化を前提とした貨車構造とすることにより、解決できる。

荷役の問題については、荷役時分を計画通りに終えるためには何をすべきかという観点から必要な施策を実施することにより、解決できる問題と考える。

- 3) 貨物列車は毎日、行き先が変わるので、全ての列車時刻表を作成することは困難である。

すべての貨物列車ではないが、貨物列車の行き先は日々異なる。しかし列車運転時刻表はその都度作成する必要はない。線路設備や車両の更新、輸送施策の変更などの都度、旅客列車運転との調整をはかった上で、貨物列車運転時刻表を作成する。日々の列車の運行については、そのダイヤを部分的に組み合わせて、一つの列車に仕立て、列車時刻表を作成する。日々、白紙の状態から列車運転時刻表を作成する必要はない（図 6-4）。

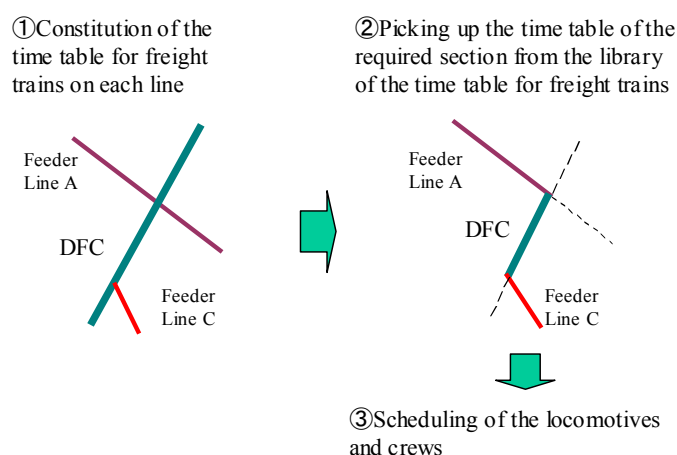


図 6-4 列車運転時刻表と日々の時刻表の編集

### 6.7.3 在来線貨物列車時刻表の段階的導入（提案）

IR ではすでに Crack Train と呼ばれるコンテナ列車に列車運転時刻表が用意されている。この時刻表は関係 Zonal Railway (ZR)間での取り決めであり、IR 全体としての時刻表ではない。また部内用であり、公表されたものではない。在来線貨物列車時刻表はこの列車運転時刻表の対象列車及び線区を拡大していくことによって実現できる。

当面の目標は DFC に直通運転する貨物列車に列車運転時刻表を用意することである。全国一斉に貨物列車運転時刻表を導入する必要はない。図 6-5 に示すように DFC 開業までの 6 年間、段階を追って対象線区を増やし、対象列車を増やしていく。そして DFC が開業する段階で、公式に発表することを提案したい。

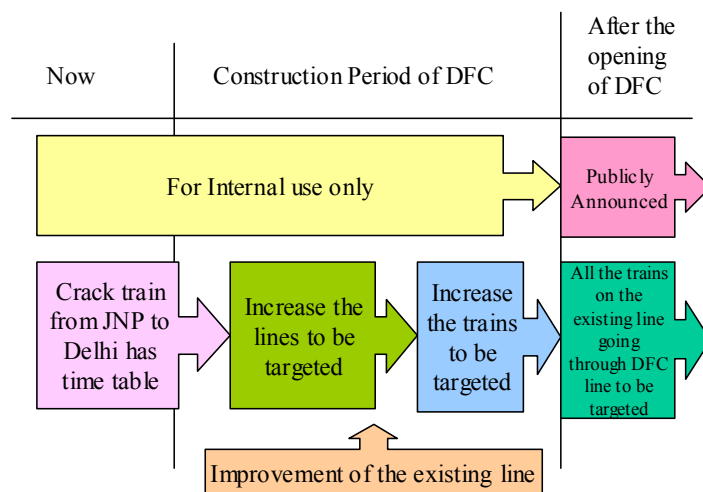
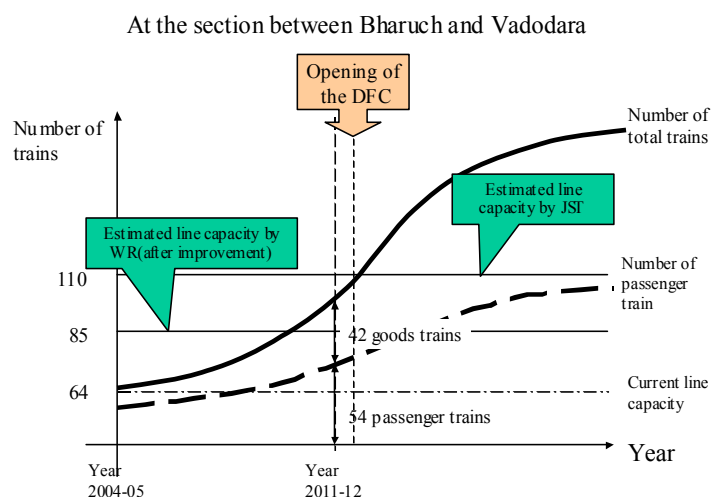


図 6-5 既存貨物列車の列車運転時刻表段階整備手順

## 6.8 線路容量向上の方策

西回廊の Bharuch と Vadodara 間では DFC 開業前の 2011 - 12 年においてすでに 1 日片道あたり客貨合わせて 96 本の列車が運転されると推定されている (図 6-6)。この数値は自動信号化した複線区間における IR の線路容量(85 本、維持管理時間含まず)を超えている。

IR では従来の線路容量向上の方策に新たな方策を加えることにより、在来線の複線区間における線路容量をさらに高めていくことが必要な時期に来ている。



出典: 調査団

図 6-6 DFC 開業以前に線路容量強化実施の必要性

### 6.8.1 線路容量向上方策のメニュー

線路容量の向上のための方策として一般に自動信号化が思い浮かぶ。線路容量は鉄道システムを構成する各種要素の総合出力である。自動信号化により、線路容量が向上することは事実であるが、そのほかの方策も併せて実施することが必要である。

表 6-22 は線路容量向上のための各種方策を示している。この表で項目は網掛けをした項目はすでに IR で実施中のメニューである。IR はすでに自動信号化以外の各種線路容量向上方策に着手していることが判る。しかし、その多くは IR ではまだ方策として定着していないと感じられる。以下、新しい線路容量向上方策確立のための補完材料を示す。

表 6-22 線路容量向上のためのメニュー

Issues to be improved	Status	
Automatic signaling	On going Some sections completed	Ahmedabad – Vasai Road
Improvement of the route alignment to avoid the route conflict	On going	Sanctioned for Vadodara St.
Enhancement of the speed restriction at the diversion side of the turnout	On going	Vadodara Div.
Introduction of EMU with high acceleration and deceleration	Already introduced	At many section
Introduction of the locomotives with high performance	On going	PPP project
Enhancement of the power supply	None	

出典: 調査団

### 6.8.2 上下列車の進路競合の回避

調査団はコンテナ列車の運転台に乗って、Vasai Road-Vadodara 間を試乗した際、駅間は快適に走行するのに、幾つかの大駅では上下列車の進路競合により、列車の進行が抑止される状況があった。図 6-7 の上の図は Vasai Road 駅発車の際、調査団が乗った列車が下り本線に進出するため、上り列車が場内信号機で抑止されている状況を示している。こうした上下列車の進路競合は信号システムが非自動であったときは目立たなかったが、信号が自動化されたことにより、目立つようになってきたものと考えられる。駅構内の進路競合は自動信号化後の最大のボトルネックである。

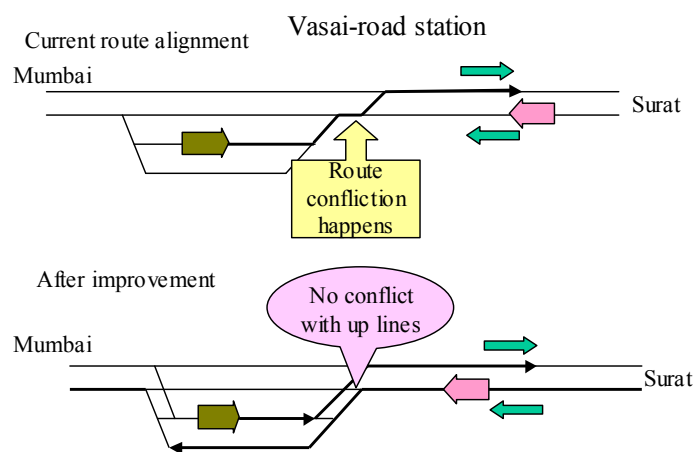


図 6-7 Vasai-Road 駅における進路競合

IR ではすでに Vadodara 駅での上下列車競合を回避するための構内改良に着手している。この際、分岐器も分岐側通過速度を時速 15km/h から 30km/h に向上できるものに取り換

える計画である。工事費総額は 150 MRs.とのことである。

線路容量はボトルネック区間の容量で決まる。従って、1 駅だけ進路競合を解消しただけではただちに線区の線路容量は向上しない。幹線上で上下線の進路競合が問題となる駅の数多くない。線路どうしの立体交差による競合回避策は大きな工事費がかかるが、Vadodara 駅改良の例を見ても判るとおり、駅構内の配線換えであれば、工事費は膨大なものとはならない。上下列車の進路競合問題を持つ駅すべてを対象とした構内改良工事を早急に着手することを勧めたい。

なお、駅改良計画をまとめる際、用地が限られているために、大胆な計画を策定しにくい場合がある。この場合、駅所在の業務機関を他駅に移転させることを計画に含めることにより、良い計画を策定することができる。これにより、老朽化した業務機関の設備更新も合わせて実現できる。

### 6.8.3 設備・車両の構造改良/品質の向上

日本では狭軌(ゲージ 1,067mm)でも 1 : 12 分岐器の分岐側通過速度は 45km/h である。IR の路線は広軌であるが、その多くが 15km/h に制限されている。これは分岐器の構造によるものと思われる。最高速度 100km/h の列車が平坦区間で最高速度を出すことができない。車両のどこかに構造的問題があるものと推測される(表 6-8)。

線路容量向上論議において、IR 側からは、設備、車両の故障が多いので、列車本数を増加させると、列車の運転が混乱するとの懸念が示された。これも設備・車両の構造や品質の問題と考えられる。

在来線の設備・車両を一度に更新することは難しい。設備・車両更新や補修の際は、同じものに取り替えず、少しでも品質、構造的に良い製品に取り替えていくことが重要と考えられる。また予算的に余裕がある際は、弱点が目立つ設備からより良い設備・車両に取り替えていく努力が重要と思われる。

### 6.8.4 ソフト的対策

線路容量を向上する方策の中にソフト的対策がある。ソフト的対策は、実施のためのコストはほとんど掛からないが、関係する職員の考え方を変えなくてはならない。これには多くの労力を要するので、その実施は困難を極めることが想定される(図 6-8 参照)。

しかし、ソフト的対策の特徴は一度、どこかで実現すれば同様の対策を実現することは極めて容易であることである。一旦実現すれば、その方策が良いものであるのか、どうか、関係者は十分理解できる。新しい常識が出来上がるのである。その後の追加導入は極めて短時間のうちに関係者の理解を得ることができるはずである。

ソフト、ハードは車の動輪であり、両輪が揃ってこそ、大きな効果を得ることができる。以下、調査の中で見出された線路容量を向上する際に実施すべきソフト的着眼点を事例的に述べる。

Adoption of both ways will be better

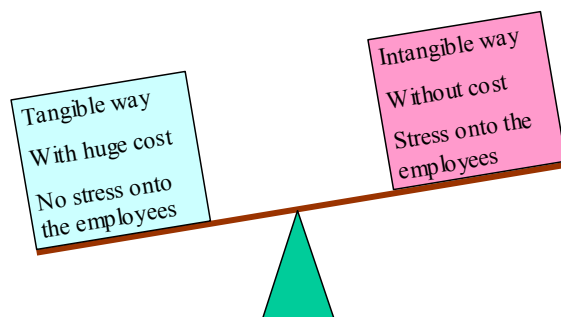


図 6-8 ハード的方策とソフト的方策

#### 【分岐器直側の速度向上】

分岐器直側には速度制限はない。しかし、現実としては駅の構内は一律的に速度制限が掛かっている(Vadodara 駅の場合、15km/h)。その理由としては大旅客駅のホームはセメント仕上げとなっており、多くの人が作業に従事しているため、危険であるからと言う。またホームの乗客のことを指摘する向きもあった。このためにホームへの列車進入速度を上げることができず、分岐器をいくら高性能のものに変えても、列車の進入速度を向上させることはできないこととなる。

ホーム上の乗客、ホーム下の作業員に警戒を呼びかける手段は幾らでもある。まずは本線に進入する列車の速度制限を向上するという強い意思を持って、必要な対策を考えていくスタンスが必要と考えられる。

### 6.9 DFC とフィーダー線の円滑な直通運転

インターモーダル輸送は鉄道と道路、船との連携改善が主たる課題であるが、鉄道内においては DFC とフィーダー線との接続が、時間を要したり、複雑な作業を必要としたりするなどの問題を惹起する可能性をもち合わせている。

フィーダー線から DFC に乗り入れる場合、想定される作業は次のとおりである。

- 機関車の付け換え、乗務員の交代、列車待機、ブレーキバンの連結解放

上記作業はいずれも輸送上の隘路を作り出す要素である。これらの問題を解決するための方策を次に示す。

#### 1) 機関車の付け換え及び乗務員の交代時分の最小化

これらは現行作業では大変な負荷となっている。例えばコンテナ列車については乗務員交代駅を半減するなど、これら作業を極力回避する努力が払われている。

この種問題解決にあたっては作業分析を行うことが大切である。Volume 3 タスク 2 第 6 章 6.7.1 に示したように、DFC に直通する貨物列車については列車時刻表を設定することも有効な方策と考えられる。さらに牽引機関車の高出力化、作業内容の

見直しなどにより、機関車の付け換えは 15 分、乗務員交代は 2 分程度で実施可能となると推定される（表 6-23 参照）。

**表 6-23 JR 貨物における機関車付け換え時分例**

単位：分

作業内容	北九州貨物ターミナル	青森信号所
ホース切	2	2
到着機関車引き上げ	2	3
発機関車連結	2	3
ブレーキ試験	2+5(貨車の連結解放がある場合)	1
計	8~13	9

出典：調査団

## 2) 列車待機時分の最小化

貨物列車が在来線から DFC へ直通する際、在来線から DFC に直通する列車は DFC 列車の間に割り込む形となるため、JS で列車待機が発生する。結果として到達時分が延びる可能性がある。

DFC から在来線に直通する列車は在来線の旅客列車運転を支障しないようにする必要があり。このため、DFC からの貨物列車は在来線での運転を開始するまでに、列車待機が発生する。

これら列車待機時分の最小化の方策としては DFC 及び在来線に貨物列車時刻表を導入することが挙げられる。貨物列車時刻表は列車待機時分を最小にする管理を行なうための足がかりとなるからである。また DFC 指令所で DFC 列車と DFC に進入する在来線列車を一元的に管理することも(第 9 章参照)有効な手立てである。

## 3) ブレーキバンの連結解放作業の廃止

在来線についてはブレーキバンの連結省略を行うことでこれら作業は不要となる。この場合、現行 Guard が果たしている役割は Assistant Driver に期待することとする(詳細は第 9 章 参照)。

## 6.10 途中駅での着発線荷役の実施

現行 IR の輸送においては、拠点から拠点に列車単位で輸送するユニットトレイン方式が基本となっている。この方式はかつて輸送能力が逼迫した時代に採用された方式であり、輸送量が少ない駅間の貨物は 1 列車分溜まるまで発駅に留置されることとなる。

インターモーダル輸送戦略検討の中では、輸送量が少ない駅間のコンテナが発駅に滞留することが総輸送日数を大きくする原因の一つと指摘されている。1 列車あたりの輸送量を減らすことなく、輸送量の少ない駅間の貨物の輸送頻度を上げるためには、途中駅で荷役を行うことが必要となる。この場合、荷役線に転線入換えを行ってはいは、最終目的地への到達時分が大きく延びてしまう。このため、日本では列車が到着した線でコンテナの取り降ろし及び積み込み作業を行っている。DFC を有効活用するためにはこうした高度な荷役作業も採り入れていくことが必要と考えられる。

DFC は交流電化する計画なので、着発線での荷役を実現するためには、架線断路器を設けることと、フォークリフトには一定高さ以上にアームが持ち上げられないよう、リミットスイッチを設けることが必要となる。日本の経験では着発線荷役は1駅あたり20~40分の停車で実現している(コンテナ1個を取卸し、かつ積載する所要時分は各1分)。

### 6.11 主要拠点間の到達時分

DFC を利用する列車について、段階別にフィーダー線を含めた主要駅間の運転時分を算出した(図6-9から図6-13参照)。段階別に到達時間が短縮しているが、インターモダル戦略の実施による結節点での滞留時分の短縮と比べれば、短縮できる時間はわずかである(Volume 3 タスク 2 第8章参照)。

なお算出の前提となる列車速度については次図に示す速度を用いた。機関車の交換時分については表6-1によれば20分以内であるが、ここでは余裕を見て1時間を取った。

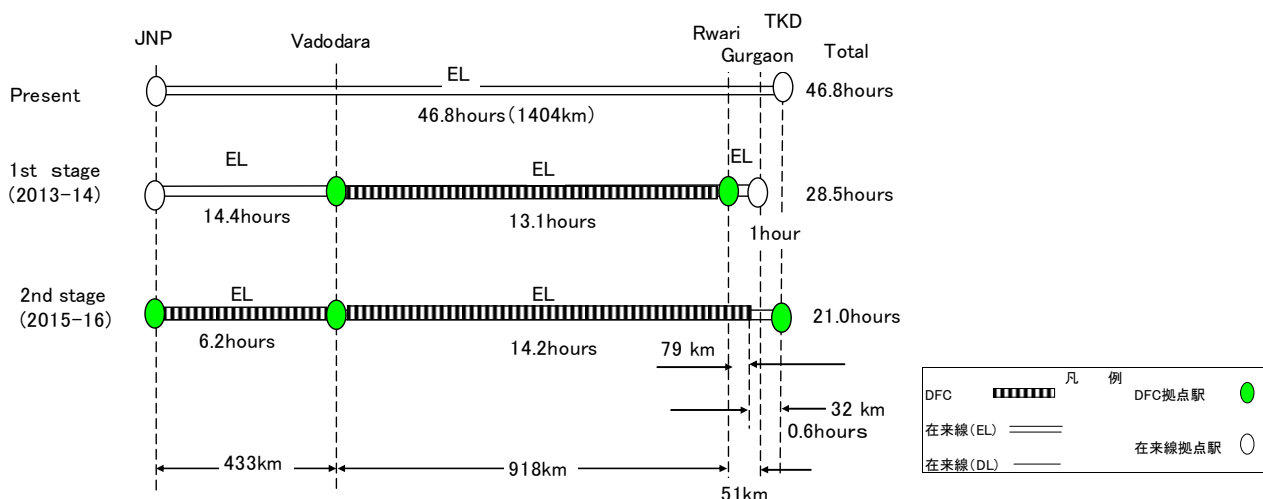


図 6-9 段階別列車運転時分(JNP-TKD)

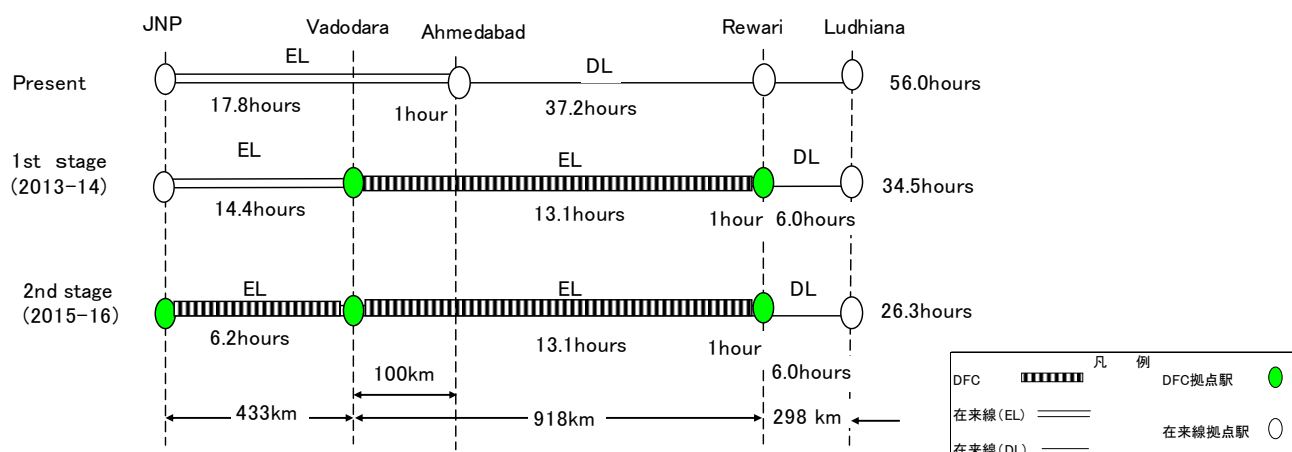


図 6-10 段階別列車運転時分(JNP-Ludhiana)

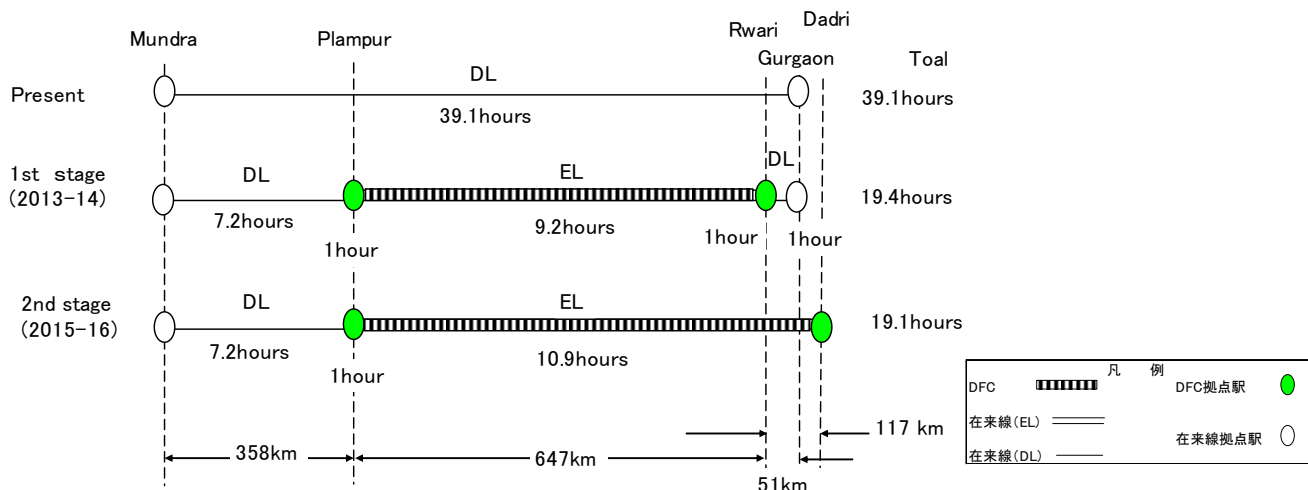


図 6-11 段階別列車運転時分(Mundra-Gurgaon/Dadri)

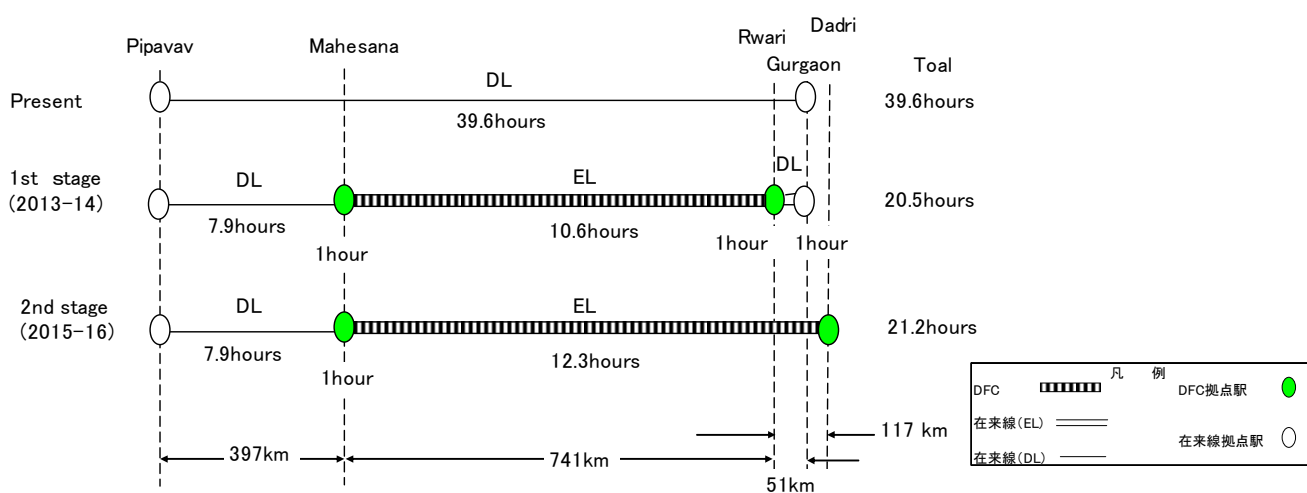


図 6-12 段階別列車運転時分(Pipavav-Gurgaon/Dadri)

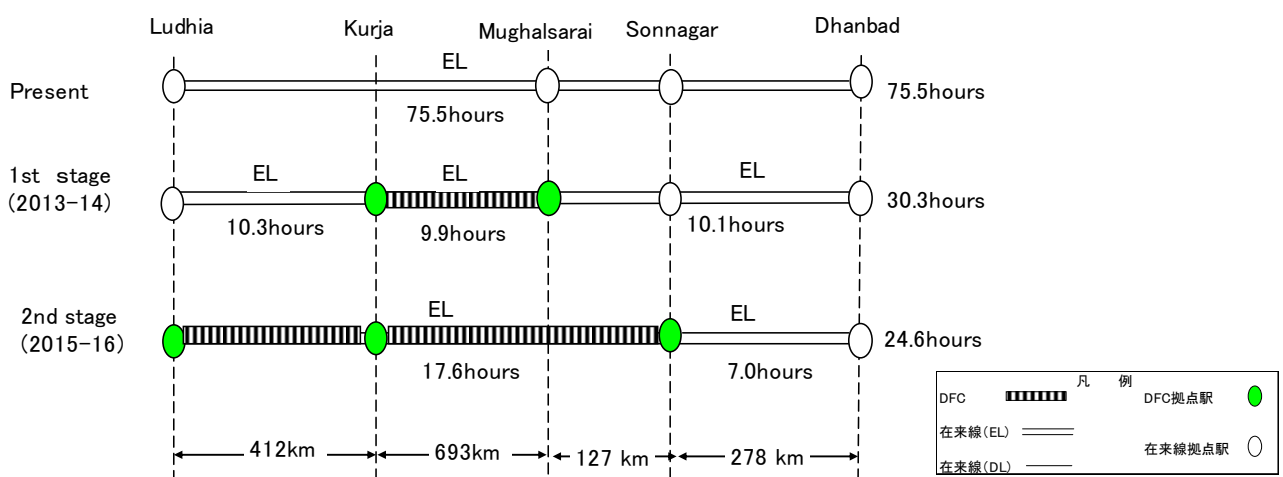


図 6-13 段階別列車運転時分(Dhanbad-Ludhiana)