

2402 MTT計画支援システムの実用化への取り組み

Practical use of Optimal Multiple Tie Tamper Operation Scheduling Support System

正 [土] ○小野寺 孝行 (東日本旅客鉄道株)

正 [土] 大越 正裕 (東日本旅客鉄道株)

Takayuki ONODERA, East Japan Railway Co. 2-0,Nishin-cho kita-ku, Saitama City

Masahiro OKOSHI, East Japan Railway Co. 2-0,Nishin-cho kita-ku, Saitama City

The geometry of ballasted track is mainly maintained with multiple tie tampers(MTT).Aimed at improving the efficiency of MTT work,the authors developed optimal multiple tie tamper operation scheduling support sysytem. As a result of a trial implementation of this system, improvement of track conditions and the reductions of the MTT work length was observed in each track maintenance depot,and the effectiveness of that sysytem has been confirmed. The authors also reorganization the sysytem to eliminate the need of manual operation as possible the optimization algorithm in calculating.

Keyword: multiple tie tampers(MTT), Scheduling Support System

1. はじめに

軌道変位推移予測結果を活用した MTT 作業計画支援システムを実用化するにあたり、現場実態に則した MTT の運用上の条件(保守基地の選択、保守間合い日、各種作業規制等)を考慮するとともに、より効率的な施工区間の選定を行なうようにシステムを改良した。

この結果、実務面において作業計画担当者が活用しやすい内容の提案を行なうとともに、作業計画の精度向上を図ることが出来た。

2. 現行の「MTT作業計画支援システム」の概要

MTT 計画支援システムは、軌道状態推移予測(高低)システムと MTT 運用最適化システムから構成しており、各種理論や最適化手法に基づき、精度の高い年間計画を策定するシステムである。

①軌道状態推移予測(高低)システム

2 年分(8 回分)のマヤデータから翌年度の4月1日時点での 100m ロット毎の線路状態(高低変位の大小と高低変位進み量)推定し、高低軌道変位、列車動揺管理の側面からの MTT 投入の期限や 10 年間の保守回数を最小にするための MTT の投入箇所、及び MTT による保守効果量を算出するシステムである。

②MTT 運用最適化システム

前項の軌道状態推移予測(高低)システムで算出した MTT 投入期限等の情報により、数理計画ソフト(Xpress)を使用して、保守可能日数や保守基地間の移動制限等の制約条件を満足しながら MTT の投入効果が最大限となるような年間計画を作成するシステムである。計画の提案は、月を上旬、中旬、下旬の3期に分割し、各期の施工可能日数に応じた施工箇所を提案する。

3. 現行のシステムの実用化への問題点

現行のシステムでは、MTT の投入効果が最大となることを最優先に計画を作成しているために、MTT の運用(具体的な施工日や使用する保守基地等)については、これまでどおり、担当者の経験と知識に委ねられている部分が多い。

しかしながら、路線が交錯し、他の保守部門の保守工事や建設工事が輻輳している首都圏の保守区においては、MTT の投入効果だけで MTT の運用を調整することは困難であり、結果的には、MTT 作業計画支援システムでの施工箇所の提案が、MTT の運用や他工事との競合の面から現場実態

にマッチしない場合が発生する。

またユニット(施工単位)を固定しているため、線路状態が良好な箇所であっても同一ユニット内は施工対象箇所として提案してしまう。

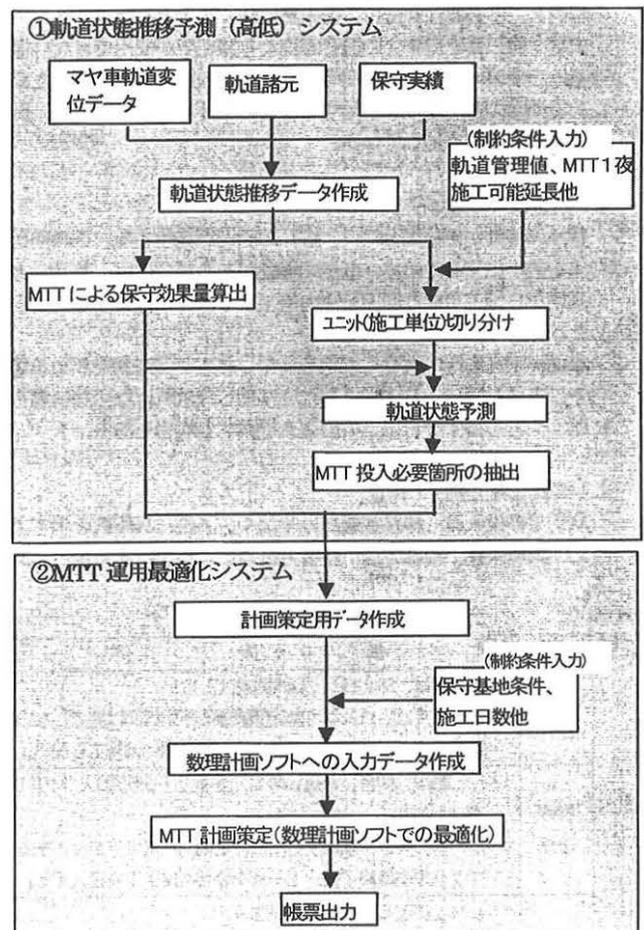


図1 計画支援システムの計画の流れ

4. 実用化に向けた取り組み

そこで、MTTの運用制限の多い首都圏の保守区の現実的な計画を策定するために、MTTの投入効果ばかりでなく、MTTの運用の制限等を加味した計画を策定できるように次のような取り組みを行なった。

4.1 具体的な施工予定日の提案

首都圏の幹線では、貨物列車が走行する路線の保守間合いを確保する目的で、曜日を指定して平行する旅客線等へ貨物列車を迂回させている。(これを「保守間合い日」と定義する。) このため、曜日により保守可能な線区が異なる。

例) 鶴見～小田原間→東海道貨物線の列車を東海道本線に迂回
新鶴見～大宮(操)→武蔵野線の列車を山手貨物線に迂回

そこで、具体的な施工予定日を提案することにより、運用計画担当者の負荷の軽減と保守間合い日の設定ミスによる作業中止や計画の変更を防止した。

4.2 具体的な保守基地の提案

複数の基地から施工可能な箇所が多く、施工予定箇所からMTTを運用する保守基地を決定するには、施工日前後の施工箇所等を考慮しなければならず非常に煩雑な作業となっている。また、運用する保守基地の選定を誤るとMTTの回送ロスが生じる場合もある。

そこで、具体的な保守基地を提案することにより、煩雑な作業の解消と、不必要な回送ロスを未然に防ぐこととした。

また、他の保守用車との競合等によりMTTが使用できない保守基地の情報(使用不能期間等)やMTTの定期検修工事のためにある期間の運用基地を制限するなどの条件を事前に設定し、計画に反映するようにしている。

4.3 回送ロスの最小化

基地の移動がある場合には、MTTの回送が発生する。この回送ロスを最小化するために、基地の移動がある場合には、着発双方の基地から施工可能な範囲を極力施工するように提案することとした。

なお、回送を行い大きく基地を移動した方が保守効果がある場合や、各種制限により大きく基地を移動しなければならない場合には、やむを得ず2日以上回送を提案する場合もある。

4.4 柔軟な施工箇所の指定

MTTの投入は、線路状態だけでなく、下表に具体例を示すように、環境条件、補修方法、経営方針等による決定する場合もある。

表1 様々な条件の具体例

区分	具 体 例
環境条件	<ul style="list-style-type: none"> ・酷暑期は、60kロング区間は施工しない。 ・1～2月は、ロング可動区間隣接の不動区間は施工しない。 ・急曲線ロング区間は、酷暑期及び厳冬期には施工しない。
補修方法	<ul style="list-style-type: none"> ・〇〇線は、間合いが短いので、8頭TTを使用し、MTTは施工しない。 ・ホームの高さを確保するために定期的にMTTを投入する。 ・マクラギ交換終了後、1ヶ月をめぐりにMTTを投入する。
経営方針	<ul style="list-style-type: none"> ・LMTによる集中施工を行なう。 ・今年度は、〇〇線の線路状態を良くするために集中施工する。 ・軌道状態が悪いながらも落ち着いている(軌道変位進みがありみられない)ので今年度は、MTTを投入しない。

そこで、①施工制限箇所(線路状態にかかわらずMTTを投入しない場所、期間)、②集中施工箇所(ある一定の期間に集中して施工する区間)、③施工日指定箇所(この日に必ず施工する区間)を

指定することにより、線路状態以外の条件を100mロット単位で計画に反映させるようにした。

4.5 飛び石施工の提案

ユニット(施工単位)の固定を廃止し、連続施工した場合や飛び石施工した場合に最も効果的な場所やパターンを提案するようにした。飛び石施工の場合には、施工場所間の移動ロスを考慮し、連続施工した場合の可能延長から100m分を差し引いた延長を合計の施工可能延長とした。

表2 施工区間のイメージ

区分	施工区間のイメージ
連続	連続900m施工
飛び石	400m施工 → 移動200m → 400m施工
	400m施工 → 移動300m → 400m施工
	400m施工 → 移動400m → 400m施工
	400m施工 → 移動500m → 400m施工
	400m施工 → 移動600m → 400m施工

4.6 施工日当たりの施工延長に対する重み付け

施工日当たりの施工可能延長は、保守間合いの長短や保守基地から現場までの移動ロス等により大幅に異なっている。(貨物列車等の迂回運転が出来ない区間では、施工日当たり200m程度であったり、首都圏の幹線であっても条件がよい箇所では、1,000m以上施工可能な区間もある。)

ここで、1年間のMTTの保守効果(年間のつき固め率)等を考えた場合には、線路状態が悪いとの理由だけで、1回に200mしか施工できない区間ばかりを施工するのではなく、場合によっては、この区間を8頭式TTなどの他の方法でとりあえず補修し、MTTは施工延長の長い区間を施工したほうがよい場合がある。

そこで、施工の箇所を選定する際に、施工日当たりの施工延長に対する重み付けを行い、施工延長が短い区間に施工箇所が偏らないようにした。

4.7 保守効果指標の見直し

今回のシステムでは、計算を簡略化するために保守効果の指標を、「軌道状態推移予測(高低)システム」で算出した線路状態の良し悪しとした。MTTの補修効果の面からは、これまでのシステムのMTTの改善効果を指標とする方が有効であるが、線路状態が悪いほど保守効果が大きいとの知見が得られていることから、改善効果の指標に替えて採用した。

また、これまでのシステムで使用していたMTTの投入期限と10年間の保守回数を最小とするためのMTTの投入箇所の指標は、今回、MTTの運用の制限を優先するために使用しないこととした。

4.8 施工対象箇所等を提案できない場合の取り扱い

様々な制約条件を加味した結果、ごくまれに、施工を予定している日であっても、施工対象箇所がない場合や、使用する保守基地を提案できない場合が発生する。この場合には、「施工対象箇所なし」、「保守基地運用の調整必要」等の提案を行なうことにより、計算システムの異常終了を防止した。

5 システムの構築

今回のシステムは、数理計画ソフトによる最適化を行わず、Visual Basic.NET を使用してプログラムを作成した。計算手法は、最適化手法でなく、基本的には総当り方式で前項の全ての項目を満たすような施工箇所を、施工日順に求めるロジックとした。

今回提案した具体例を表3に示す。施工予定日、施工場所、使用する保守基地、回送が必要日、施工しながら基地を移動する日などが確実に提案されている。

なお、運用基地の短期間の移動を制限するために次の条件を付加している。

- ①保守基地が1箇所に限定されている施工予定日の前後1回は、可能な限り同一基地から運用する。
- ②各月の上旬、中旬、下旬の間は、可能な限り同一基地から運用する。

表3 作業計画の提案例

施工回数	施工予定日	技	線名	線別	キロ程から	キロ程まで	計画延長	施工可能延長	使用基地	記事
1	2003/10/1	77620	東海道電車	下	26,400	27,200	800	800	東神奈川	
2	2003/10/3	77620	横浜線	下	0	1,300	800	950	東神奈川	
3	2003/10/4	77620	根岸線	下	0	800	800	800	東神奈川	
4	2003/10/6	77620	東海道電車	下	26,200	27,000	800	800	東神奈川	
5	2003/10/8	77620	東海道電車	下	27,900	28,750	850	800	東神奈川	
6	2003/10/10	77620	東海道電車	下	23,300	24,100	800	800	東神奈川	
7	2003/10/15	77620	東海道本線	下	27,600	28,400	800	800	東神奈川	
8	2003/10/17	77620	東海道電車	下	27,300	28,600	700	800	東神奈川	
9	2003/10/20	77620	東海道電車	下	25,000	25,800	800	800	東神奈川	
10	2003/10/22	77620	東海道電車	下	23,300	24,100	800	800	東神奈川	
11	2003/10/23	77620	横浜線	下	3,900	4,800	900	950	東神奈川	
12	2003/10/27	77620	東海道電車	下	25,600	26,400	800	800	東神奈川	
13	2003/10/29	77620	横浜線	下	1,300	2,200	900	950	東神奈川	
14	2003/10/30	77620	東海道電車	下	27,200	27,900	700	800	東神奈川	
15	2003/10/31	77620	東海道本線	下	23,600	24,400	800	800	東神奈川	
16	2003/11/4	77620	東海道本線	下	29,300	30,400	700	800	東神奈川	
17	2003/11/5	77620	東海道電車	下	24,100	24,900	800	800	東神奈川	
18	2003/11/7	77620	東海道本線	下	25,800	27,000	700	800	東神奈川	
19	2003/11/10	77620	東海道本線	下	29,300	30,100	800	800	東神奈川	
20	2003/11/12								東神奈川→磯子	回送
21	2003/11/13	77620	根岸線	下	2,000	2,800	800	800	磯子	
22	2003/11/14	77620	根岸線	下	4,800	6,100	700	800	磯子	
23	2003/11/17	77620	根岸線	下	12,500	13,300	800	800	磯子	
24	2003/11/18	77620	根岸線	下	11,200	12,300	700	800	磯子	
25	2003/11/20	77620	根岸線	下	12,300	13,600	700	800	磯子	
26	2003/11/26	77620	根岸線	下	3,800	4,600	800	800	磯子	
27	2003/12/1	77620	根岸線	下	2,800	3,600	800	800	磯子	
28	2003/12/2	77620	根岸線	下	14,100	14,900	800	800	磯子	
29	2003/12/8	77620	根岸線	下	13,300	14,100	800	800	磯子	
30	2003/12/10	77620	根岸線	下	10,400	11,200	800	800	磯子	
31	2003/12/11								磯子→保土ヶ谷	回送
32	2003/12/12	77620	東海道須賀	下	25,300	26,200	900	900	保土ヶ谷	
33	2003/12/15	77620	東海道須賀	下	25,800	26,700	900	900	保土ヶ谷	
34	2003/12/16	77620	東海道須賀	下	29,400	30,300	900	900	保土ヶ谷	
35	2003/12/19	77620	東海道須賀	下	24,000	25,100	800	900	保土ヶ谷	
36	2003/12/25	77620	東海道須賀	下	23,900	24,800	900	900	保土ヶ谷	
37	2004/1/7	77620	東海道須賀	下	26,900	27,800	900	900	保土ヶ谷	
38	2004/1/8	77620	東海道須賀	下	24,900	25,800	900	900	保土ヶ谷	
39	2004/1/13								保土ヶ谷→町田	回送
40	2004/1/15	77620	横浜線	下	27,000	27,900	900	950	町田	
41	2004/1/16	77620	横浜線	下	28,100	29,000	900	950	町田	
42	2004/1/19	77620	横浜線	下	22,300	23,200	900	950	町田	
43	2004/1/20	77620	横浜線	下	22,200	23,100	900	950	町田	
44	2004/1/23	77620	横浜線	下	21,400	22,300	900	950	町田	
45	2004/1/26	77620	横浜線	下	25,300	26,200	900	950	町田	
46	2004/1/29	77620	横浜線	下	24,900	26,200	800	950	町田	
47	2004/2/2	77620	横浜線	下	20,000	20,400	400	950	町田→中山	
48	2004/2/4	77620	横浜線	下	7,100	8,000	900	950	中山	
49	2004/2/5	77620	横浜線	下	12,900	13,800	900	950	中山	
50	2004/2/6	77620	横浜線	下	9,800	10,700	900	950	中山	
51	2004/2/9	77620	横浜線	下	14,900	15,800	900	950	中山	
52	2004/2/10	77620	横浜線	下	18,200	19,800	800	950	中山	
53	2004/2/12	77620	横浜線	下	13,000	13,900	900	950	中山→小机	
54	2004/2/13	77620	横浜線	下	4,300	5,200	900	950	小机	
55	2004/2/16	77620	横浜線	下	4,800	5,600	800	950	小机	
56	2004/2/17	77620	横浜線	下	3,000	3,900	900	950	小机	
57	2004/2/19	77620	横浜線	下	11,000	11,900	900	950	小机	
58	2004/2/23								小机→横本	回送
59	2004/2/24	77620	横浜線	下	33,200	34,100	900	950	横本	
60	2004/2/26	77620	横浜線	下	33,300	34,200	900	950	横本	
61	2004/2/27	77620	横浜線	下	34,500	35,400	900	950	横本	
62	2004/3/1	77620	横浜線	下	30,800	31,000	200	950	横本→町田	
63	2004/3/2	77620	横浜線	下	20,700	21,600	900	950	町田	
64	2004/3/3	77620	横浜線	下	24,000	24,900	900	950	町田	
65	2004/3/5	77620	横浜線	下	23,800	24,700	900	950	町田	
66	2004/3/6	77620	横浜線	下	20,400	21,300	900	950	町田	
67	2004/3/9	77620	横浜線	下	23,100	24,000	900	950	町田	
68	2004/3/10	77620	横浜線	下	28,200	27,000	800	950	町田	
69	2004/3/11	77620	横浜線	下	21,600	22,200	600	950	町田→長津田	
70	2004/3/12	77620	横浜線	下	14,000	14,900	900	950	長津田	
71	2004/3/15	77620	横浜線	下	18,600	19,400	800	950	長津田	
72	2004/3/17	77620	横浜線	下	15,800	16,400	600	950	長津田	
73	2004/3/18	77620	横浜線	下	23,200	23,800	600	950	長津田	
74	2004/3/22	77620	横浜線	下	13,800	14,000	200	950	長津田→小机	
75	2004/3/25	77620	横浜線	下	6,100	7,000	900	950	小机	

6. 計画の妥当性

今回開発したシステムの計画の妥当性について、MTTの投入による補修効果の観点から検討を行なった。

新旧システムの計算方法の違いにより、施工ロットが共通する線区としない線区がある(表4)が、これは、その期間に運用可能な基地が多いほど、新旧システムのデータの重み付けの違いと保守基地からの運用条件の違いにより運用基地が異なる結果となることによるものと考えられる。

よって、運用基地の少ない期間に施工する東海道本線と東海道電車線、東海道横須賀線は、同一箇所の割合が高い。

また、対象ロットの平均的な線路状態及びMTTによる良化量と比較すると現行のシステムの90%以上の値となっている(表5)ことから、提案ロットは異なるものの、MTTの計画の妥当性の観点からは、一定の精度があるものと考えられる。

表4 施工対象箇所の数量及び同一箇所の割合

	現行 (Km)	今回 (Km)	同一箇所	同一箇所の割合 (%)
東海道本線	8.2	2.4	2.1	87.5
東海道電車	7.0	6.3	4.7	74.6
東海道横須賀	9.4	6.2	4.5	72.6
横 浜	27.4	28.0	12.7	45.4
根 岸	14.4	11.6	6.8	58.7
合 計	64.8	54.5	30.8	56.5

表5 対象ロットの平均的な線路状態及びMTTによる良化量

	現行	今回	割合
線路状態 (β)	1.53	1.49	97.4%
MTTによる良化量	0.52	0.47	90.4%

7. 今後の取り組み

7.1 軌道状態推移予測 (高低) システムの改修

今回は、これまでのシステムで算出したデータを使用した。これまでのシステムは、マヤの走行データを基準にデータを作成しているためマヤが走行しない区間や他社の検測車が測定する区間は、データベースが作成されないシステムとなっている。また、BWキロ程に対応していないために、B区間であるにもかかわらずデータベース化されるなどの課題がある。

また、今回のシステムでは使用しないMTT投入の期限や10年間の保守回数を最小にするためのMTT投入箇所、MTTの保守効果量等も同時に算出するために処理に時間がかかっている。

そこで、設備データを基準にデータベースを作成し、今回のシステムに必要な線路状態のデータだけを算出するようにシステムを改修し処理時間の短縮を図る。

7.2 よりきめ細かいMTT等の運用制限の反映

今回の取り組みにより、大部分のMTT等の運用制限等を計画に反映させることが可能となったが、引き続きよりきめ細かい運用条件を反映できるように検討を加える。主な内容は次のとおりである。

- ①同一施工箇所であっても発着する保守基地により施工日当たりの施工延長が異なる箇所への対応 (現行は最短の延長としている)
- ②保守間合い日等による保守基地の出入りの制限
- ③移動や回送の際の具体的な移動ルート (線名や線別) の提案

等

7.3 線区毎の重み付けの適正化

今回は、8エリアの計画を行なったが、1つのエリアで複数の線区を有している場合が多く(表6)、線区毎の重み付けは高低変位の線路状態で行なったことから、一部において、施工線区が偏る事象が発生した。これは、「線路状態が悪い場所から施工する。」との考え方から生じるものである。

今後は、「多少線路状態が悪くても変位進みが少ない箇所は、補修の優先順位を下げる。」との考え方を導入し、変位進み量を含めた重み付けを付加し、線区毎の偏りが発生しないようにしたいと考えている。

表6 各エリアの対象線区

Aエリア		Dエリア	
線名	ルート数	線名	ルート数
旅客幹線A(1級線)	146	旅客幹線A(1級線)	510
旅客幹線B(1級線)	110	貨物幹線B(1級線)	510
旅客幹線C(1級線)	146	旅客近郊線B(3級線)	155
旅客近郊線A(2級線)	708	合計	1,175
旅客幹線D(1級線)	306		
旅客近郊線B(3級線)	177	Eエリア	
合計	1,593	線名	ルート数
		旅客幹線A(1級線)	806
		貨物幹線B(1級線)	158
		旅客近郊線E(2級線)	24
		旅客近郊線F(2級線)	155
		合計	943
Bエリア		Fエリア	
線名	ルート数	線名	ルート数
旅客幹線A(1級線)	120	旅客幹線D(1級線)	1,192
貨物幹線A(1級線)	143	旅客支線A(4級線)	471
旅客幹線B(1級線)	120	合計	1,663
貨物幹線B(1級線)	20		
貨物近郊線A(3級線)	94	Gエリア	
貨物近郊線B(3級線)	14	線名	ルート数
旅客近郊線C(2級線)	442	旅客幹線D(1級線)	1,622
貨物近郊線C(2級線)	40	旅客支線B(4級線)	115
貨物幹線C(2級線)	208	旅客支線C(4級線)	94
旅客幹線C(1級線)	200	合計	1,831
貨物支線A(4級線)	12		
旅客支線A(4級線)	123	Hエリア	
貨物支線B(4級線)	13	線名	ルート数
貨物幹線D(2級線)	323	旅客近郊線D(2級線)	1,863
合計	1,872	旅客支線D(4級線)	10
		合計	1,873
Cエリア			
線名	ルート数		
旅客幹線A(1級線)	400		
貨物幹線B(1級線)	988		
旅客幹線C(1級線)	320		
旅客幹線D(1級線)	136		
旅客近郊線D(2級線)	395		
合計	2,239		

7.4 他の指標の導入

今回は、高低変位と列車動揺(上限)の指標を使用しているが、ユーザーである現場からの声として、「P値」と「通り変位」の指標の導入がある。P値は、今回のような統計処理手法には不向きな指標であるが、現場のみならず社内でも、線路状態を示す指標として定着していることから、なんらかの形で導入をしたいと考えている。また、通り変位は、高低変位に比較して変位進みが小さいことから、時系列での推移予測を行わずに、最新データのみを導入したいと考えている。

7.5 最適化手法の導入

今回は、施工日順に総当りして施工箇所を算出しているが、より高精度の計画とするには、最適化手法の導入が必要である。最適化の計算に必要な時間と計画の精度を考慮し、数値計画ソフト等の導入を含めて検討していく。

7. あとがき

今回の実用化に向けた取り組みの中で作成したシステムは、首都圏の保守区での実態を反映させるために作成したものであり、従来のシステムの信頼性を否定するものではない。従来のシステムは、MTTの投入効果の面からは非常に信頼性のあるシステムであることは言うまでもない。

よって、将来的には、今回のような簡易なシステムでなく、最適化手法を取り入れたシステムの完成が望まれる。IT技術の進

展と数値計画ソフトの機能向上により近い将来には実現可能と思われる。

(参考文献)

- 1)三和雅史、石川達也、大山達雄：軌道状態推移予測モデルの構築と最適軌道保守計画のための全整数型数値計画モデル分析 土木学会論文集 2001.7 P51~65
- 2)奥村他 「MTT作業計画支援システム」の操作性向上に関する取組み 土木学会第57回年次学術講演会概要集 2002.9