

## 軌道モーターカー運用計画作成支援システムの開発

軌道技術研究部 軌道管理

副主任研究員 泉 英治

### 1. はじめに

複数の軌道モーターカー（以下、「MC」と称する）を保有する現業区においては、その運用計画は予定作業を各MCに割り付けながら作成される。この計画は担当者の経験に基づいて作成されており、作成された計画の妥当性が不明であると共に計画の作成に多くの手間を要している。そこで、これまでに開発したMTT運用計画作成システム<sup>1)</sup>を応用して、MCの運用と計画作成作業の効率化を目的とした「軌道MC運用計画作成支援システム」を開発したので紹介する。

### 2. 軌道MCの運用実態データ分析

初めに、MTT運用計画作成モデルを軌道MCの運用計画に応用できる範囲や方法を検討するために、鉄道事業者のある保線区におけるMCの運用実績データ（1年間）を分析した。

#### 2.1 分析データ

当該保線区には4台のMCが所属しており、それぞれ4線区内で運用され、22の基地を使用している。また、レール、道床、まくらぎ等の運搬する材料により使用可能な基地が限定される場合がある。

#### 2.2 分析結果

##### (1) 作業内容と作業量

- ・道床散布の作業日数が最も多く、以下、レール運搬、まくらぎ運搬、除草剤散布、削正車等牽引の順である（図1）。
- ・材料積込・取卸等の1作業あたりの必要日数は、道床散布が他の作業よりやや長い傾向にある。
- ・作業内容によっては、使用可能なMCが限定される場合（以下、「限定MC」と称する）がある。

以上より、作業の時期と場所が決まると、MCの運用は「作業名、時期、場所、必要日数、使用限定MCの有無」により決定されると考えられる。

##### (2) 使用基地

- ・全22基地中、14基地の使用実績がある。
- ・各MCについては担当範囲がほぼ決まっている。

##### (3) 移動距離

- ・基地間移動距離は1台を除いて年間400-500km/台程度であり、1回あたりの平均値は16.88km、最大値は42.45kmである。
- ・基地間の移動は、MCを用いた作業の後に行う場合と、別途回送日を設定して行う場合とがある。

このうち移動については、基地間の回送距離を削減できれば効率的な運用が可能になると考えられる。

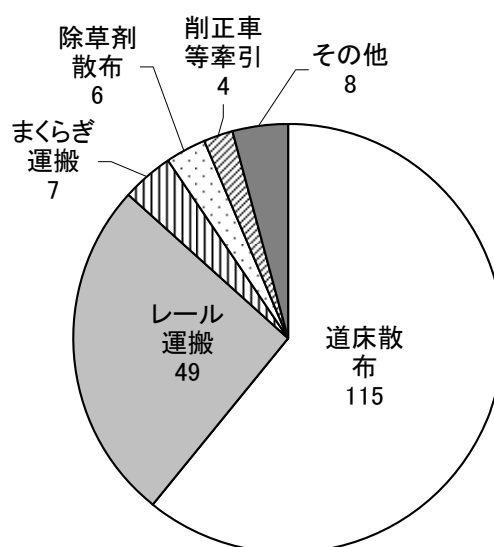


図1 MCによる作業内容と作業日数

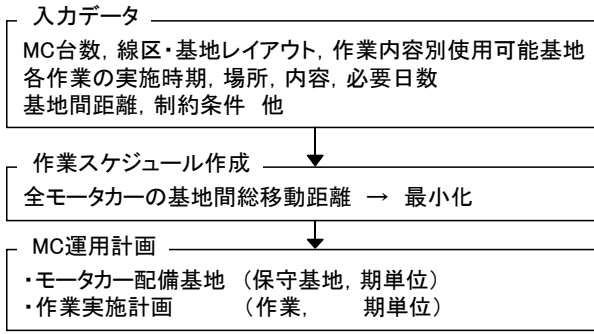


図2 軌道 MC 運用計画モデルの構造

### 3. 軌道 MC 運用計画モデル

2. 2 節の結果から、MC の効率的な運用を行うために、MC の基地間総移動距離を最小化することを目的関数として運用計画モデルを構築した。モデルの構造を図2に示す。

#### 3. 1 モデルの構築

##### (1) モデルの目的関数

計画期間中における MC の基地間総移動距離を最小化する。

##### (2) 決定変数と制約条件

MC を各保守基地に配備する時期と担当する作業内容を決定する2種類の決定変数を定める。制約条件は、論理制約に加えて MC の運用に関する制約、作業の実施に関する制約で構成する。

##### (3) モデルの出力

MC の各保守基地への配備時期を期単位 (目的関数に応じて適切な期間を1単位として定義することができる) で出力する。

##### (4) モデルの定式化

構築したモデルを定式化したものを図3に示す。

#### 3. 2 実証分析

モデルによる計算結果と実績との比較に併せて、保有台数の適正化の確認のため、MC を1~4台の範囲で変えて年間計画を作成し、MC 台数別の MC 移動距離を評価したものを図4に示す。

- ・実績と同じ4台の場合は実績より短い移動距離での作業が可能である。
- ・1台の場合には全ての作業を割り付けることができない。
- ・2台以上の場合には台数の減少に伴い移動距離が増加するが、実績よりは短い。

#### 集合

- (a) 期  $K = \{1, 2, \dots, K^{\max}\}$
- (b) 保守基地  $D = \{1, 2, \dots, D^{\max}\}$
- (c) MC  $C = \{1, 2, \dots, C^{\max}\}$

#### 変数 (0-1 型)

※k 期の着基地と k+1 期の発基地は同一箇所

- (a)  $s_{nks}$   $n \in C, k \in K, s \in D$   
期 k に発基地 s へ限定 MC<sub>n</sub> を配備する
- (b)  $q_{nkq}$   $n \in C, k \in K, q \in D$   
期 k に經由基地 q へ限定 MC<sub>n</sub> を配備する
- (c)  $\delta_{nksq}$   $n \in C, k \in K, s \in D, q \in D$   
期 k に発基地 s から經由基地 q へ限定 MC<sub>n</sub> を移動する
- (d)  $\delta'_{nkqs}$   $n \in C, k \in K, q \in D, s \in D$   
期 k に經由基地 q から着基地 s へ限定 MC<sub>n</sub> を移動する
- (e)  $s_{mks}$   $m \in C, k \in K, s \in D$   
期 k に発基地 s へ一般 MC<sub>m</sub> を配備する
- (f)  $q_{mkq}$   $m \in C, k \in K, q \in D$   
期 k に經由基地 q へ一般 MC<sub>m</sub> を配備する

#### 制約条件

- (a) 期別 MC 別選定可能基地指定制約  
各 MC については、期単位で発基地、經由基地へ配備可能とする
- (b) 期別 MC 別配備基地指定制約  
指定期には指定基地へ指定 MC を配備する
- (c) 期別配備基地指定制約  
指定期には指定基地へいずれかの MC を配備する
- (d) MC 基地間移動論理制約  
MC の基地間移動に関する変数  $\delta_{nksq}, \delta'_{nkqs}$  を以下の式により定義する

$$\sum_{q \in D} \delta_{nksq} = s_{nks} \quad \sum_{s \in D} \delta_{nksq} = q_{nkq}$$

$$\sum_{q \in D} \delta'_{n(k-1)qs} = s_{nks} \quad \sum_{s \in D} \delta'_{nkqs} = q_{nkq}$$

※但し、k-1 ≥ 1

#### 目的関数

計画期間中における MC の基地間移動距離を最小化する

$$L = \sum_{n \in C} \sum_{k \in K} \sum_{s \in D} \sum_{q \in D} \delta_{nksq} \Delta_{sq} + \sum_{n \in C} \sum_{k \in K} \sum_{q \in D} \sum_{s \in D} \delta'_{nkqs} \Delta_{qs} \rightarrow \min.$$

$\Delta_{sq}$  : 発基地 s から經由基地 q の間の距離

$\Delta_{qs}$  : 經由基地 q から着基地 s の間の距離

図3 モデルの定式化

すなわち、モデルによる計算結果から実績より少ない移動距離で作業を実施でき、また、MC台数を現状より削減しても同量の作業が可能であるといえる。ただし、作業の内容や量は年度によって変動すると考えられるため、このような保有台数の検討においては様々な条件を設定するか、作業量を実際より若干多く設定して検討することが適当と考えられる。

例えば、ある月における作業量を変えて同様の検討を実施した例を図5に示す。MC台数が減少すると移動距離が増加するのは図4と同様の傾向である。そして、作業量が増加すると移動回数が増えるために移動距離が増加するが、2台では作業量が10件以上、1台では5件以上の場合には全ての作業を実施できない。このような作業量の上限は条件に応じて変化すると考えられることから、条件を様々に変えて適切なMC保有台数を検討する必要がある。

#### 4. 軌道MC運用計画作成支援システム

##### 4.1 システムの構成

3章で構築した計画モデルに基づいた軌道MC運用計画作成支援システムの構成を図6に示す。プラットフォームはマイクロソフト社の「Excel」である。また、計画モデルを解くための最適化計算には、数理システム社の汎用数理計算ソフトウェア「NUOPT」をライブラリとして使用している。本システムの利点を以下に示す。

- Excelの基本的な操作知識さえあれば容易に計画作成が可能である。

- NUOPTにより最新の最適化手法を用いることができ、計算の高速化が継続的に期待できる。

- NUOPTはMTT運用計画作成システムにおいて使用しており、共有することで、コストダウンを図ることができる。

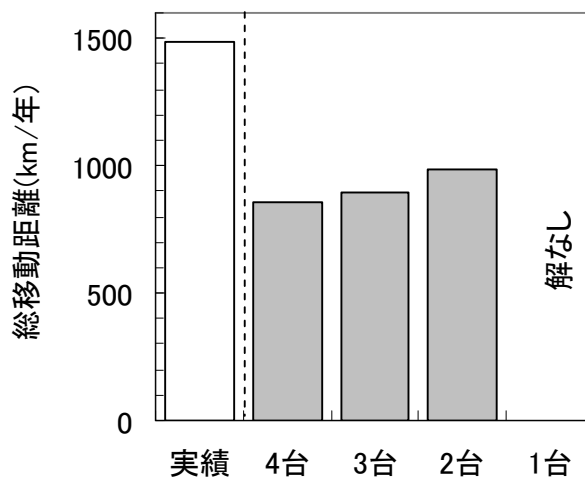


図4 MC台数別移動距離

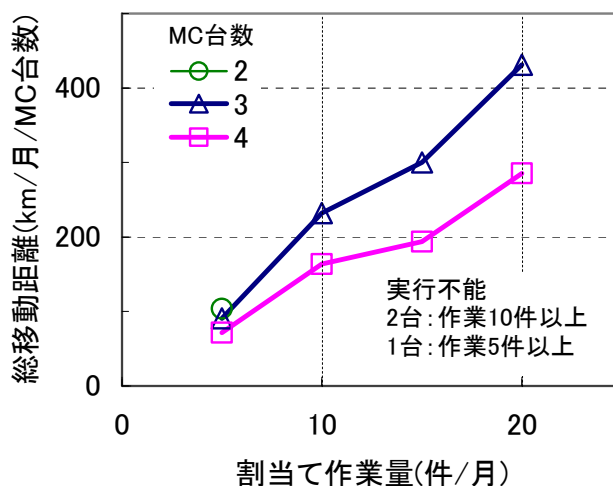


図5 MC台数別割当て作業量と移動距離

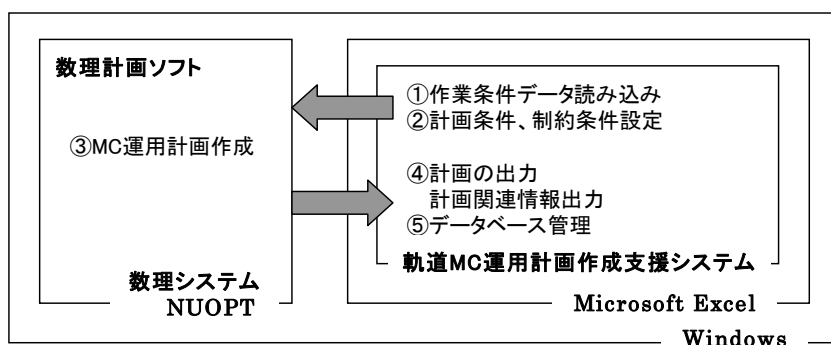


図6 軌道MC運用計画作成支援システム構成

#### 4. 2 システムの機能

##### (1) 作成する計画

構築した軌道 MC 運用計画モデルに基づいて複数台の MC 運用計画を作成する。計画は、1 期を 1 日として 1 ヶ月間の MC 配備基地が示され、最短の基地間移動距離を実現するように作成される。

##### (2) 入力条件、データ

本システムを起動すると図 7 に示す主操作シートが現れる。本画面上で計画作成時に必要な入力条件、データをシステムに直接入力する。また、データを入力することで 1 ヶ月の MC 移動表を出力でき、移動距離も算出される。

##### (3) 計画作成処理

NUOPT にて入力データの最適化計算を行う。

##### (4) 出力

NUOPT にて求めた最適解の各期における MC 配備基地データから、図 8 に示す最短の基地間移動距離に基づく計画が出力される。

軌道MC運用計画システム 入力画面

No.	時期	作業名	発着地	経由基地	着基地	MC
1	2006.9.1	まくらぎ運搬	11: 豊浜	10: 本山	11: 豊浜	35: 軌道モーター
2	2006.9.4	道床散布	16: 三本松	15: 一本松	14: 津田	37: 軌道モーター
3	2006.9.4	レール運搬	12: 屋島	01: 高松	12: 屋島	15: 軌道モーター
4	2006.9.4	道床散布	06: 多度津	09: 高瀬	07: 海岸寺	31: バラスト作業車
5	2006.9.4	まくらぎ運搬	11: 豊浜	10: 本山	11: 豊浜	35: 軌道モーター
6	2006.9.7	レール運搬	12: 屋島	01: 高松	12: 屋島	15: 軌道モーター

初期設定	計画開始日	MC開始位置	保守基地
	2006.9.1	15: 軌道モーター	12: 屋島
		31: バラスト作業車	06: 多度津
		35: 軌道モーター	11: 豊浜
		37: 軌道モーター	16: 三本松

図 7 主操作シート (4 台の MC 運用)

2006年9月 軌道MC配備基地(計算後)

基地名	キロ程	MC	9月													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
多度津	32.640	35	●	●	●	○										
海岸寺	36.350	31									●	○				
詫間	41.880	31									●	○			●	○
高瀬	46.850	31				●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
本山	52.250	37				●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
豊浜	61.880	35	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○
屋島	9.810	15	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○
津田	28.030	31				●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
三本松	37.850	37	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○
引田	45.360	37													●	○

符号の説明	MC番号	移動距離	合計
○: 作業開始基地	15	78.47 km	242.33 km
●: 作業終了留置基地	31	56.21 km	
-: 留置	35	48.15 km	
	37	59.50 km	

図 8 計算出力画面 (4 台の MC 運用)

#### 5. まとめ

本システムは、基地間移動距離を最小化する MC 計画を作成するものであり、今後の MC 運用の一つの指標として大いに期待できると考えている。

ただし、ここで紹介したシステムはプロトタイプ版であり、実務的に MC 運用を決定するには作業間合等を考慮する必要がある。また、Excel から NUOPT への相互データの受け渡し等で完全な自動化は実現できていない。今後は、詳細な制約条件が付加可能で、完全に自動化されたシステムへの改良が重要であると考えている。また、保守用車の効率的な運用について MTT, MC に続き、レール削正車等についても検討していきたい。

#### [参考文献]

- 1) 三和雅史他：保守費用を最小化する軌道変位保守計画の作成法（鉄道総研報告 20 巻-4 号, pp. 41-46, 2006)