

卒業論文

鉄道軌道メンテナンスに関するLCA評価

1～64 ページ完

平成 18 年 2 月 3 日提出

指導教員 酒井 信介 教授

40177 岡田 幸順

# 目次

<b>第1章 序論</b> .....	6
1.1 研究の背景.....	7
1.2 TC型省力化軌道.....	8
1.3 レール削正手法.....	8
1.4 研究の目的.....	9
1.5 本論文の構成.....	9
<b>第2章 LCA評価の手法</b> .....	10
2.1 LCA手法の概要.....	11
2.2 インベントリ分析.....	12
2.2.1 プロセス分析法.....	12
2.2.2 産業関連法.....	12
2.2.3 ハイブリット法.....	13
2.3 マトリクス法.....	13
2.4 感度分析.....	13
2.5 汎用ソフトウェアEMLCA.....	14
2.6 J LCAデータベース.....	15
<b>第3章 システムフローの構築及びデータ収集</b> .....	16
3.1 緒言.....	17
3.2 対象線区.....	17
3.3 軌道メンテナンスシステムフローの構築.....	18
3.3.1 レール交換.....	18
3.3.2 マクラギ交換.....	20
3.3.3 道床交換.....	21
3.3.4 MTT・BR施工.....	22
3.3.5 軌道メンテナンスシステムフロー.....	22
3.4 省力化軌道敷設システムフローの構築.....	23
3.5 データ収集.....	24
3.6 結言.....	26
<b>第4章 現状軌道メンテナンスにおけるCO<sub>2</sub>排出量の把握</b> .....	27
4.1 緒言.....	28
4.2 軌道メンテナンス年間CO <sub>2</sub> 排出量.....	28
4.2.1 設定条件.....	28
4.2.2 計算結果.....	28
4.2.3 考察.....	29

4.3	各プロセスからのCO <sub>2</sub> 排出量.....	30
4.3.1	各プロセスからのCO <sub>2</sub> 排出量.....	30
4.3.2	考察.....	33
4.4	結言.....	34
<b>第5章</b>	<b>CO<sub>2</sub>排出量削減方法の検討.....</b>	<b>35</b>
5.1	緒言.....	36
5.2	現状軌道におけるCO <sub>2</sub> 排出量削減.....	36
5.2.1	メンテナンス作業数量の影響.....	37
5.2.2	軌道モーターカーの燃費向上.....	38
5.2.3	レール運搬の鉄道輸送への変更.....	39
5.2.4	木マクラギからPCマクラギへの変更.....	39
5.2.5	レール削正手法の導入.....	41
5.2.6	レールのリサイクル.....	42
5.2.7	レールのリユース.....	43
5.2.8	感度分析.....	45
5.3	TC型省力化軌道への変更.....	46
5.3.1	設定条件.....	46
5.3.2	計算方法.....	49
5.3.3	計算結果.....	50
5.3.4	考察.....	52
5.4	結言.....	53
<b>第6章</b>	<b>結論.....</b>	<b>54</b>
6.1	本論文における結論.....	55
6.2	今後の課題.....	55
付録	.....	56
謝辞	.....	62
参考文献	.....	63

## 図表目次

図 1.1	従来の軌道とTC型省力化軌道	8
図 3.1	レール交換のプロセスフロー	20
図 3.2	軌道メンテナンスシステムフロー	23
図 3.3	省力化軌道敷設システムフロー	24
図 4.1	単位軌道延長あたりの軌道メンテナンス年間CO <sub>2</sub> 排出量	29
図 4.2	(1級)山手線軌道メンテナンスCO <sub>2</sub> 排出量内訳	30
図 4.3	(1級)中央本線軌道メンテナンスCO <sub>2</sub> 排出量内訳	31
図 4.4	(2級)東北本線軌道メンテナンスCO <sub>2</sub> 排出量内訳	31
図 4.5	(3級)羽越本線軌道メンテナンスCO <sub>2</sub> 排出量内訳	32
図 4.6	(4級)水郡線軌道メンテナンスCO <sub>2</sub> 排出量内訳	32
図 5.1	(1級)山手線軌道メンテナンス作業量の影響	35
図 5.2	(1級)中央本線軌道メンテナンス作業量の影響	36
図 5.3	(2級)東北本線軌道メンテナンス作業量の影響	36
図 5.4	(3級)羽越本線軌道メンテナンス作業量の影響	37
図 5.5	(4級)水郡線軌道メンテナンス作業量の影響	37
図 5.6	(1級)中央本線 レールのリサイクル率の影響	43
図 5.7	(1級)中央本線 レールのリユース率の影響	43
図 5.8	レール交換プロセスフロー 省力化敷設場合	47
図 5.9	レール交換プロセスフロー 省力化敷設場合	47
図 5.10	レール交換プロセスフロー 省力化敷設場合	48
図 5.11	省力化軌道と現状軌道のCO <sub>2</sub> 排出量	49
図 5.12	(1級)中央本線軌道省力化	50
図 5.13	(2級)東北本線軌道省力化	50
図 5.14	(3級)羽越本線軌道省力化	51
図 5.15	(4級)水郡線軌道省力化	51
図 5.16	(1級)中央本線省力化 PCマクラギリユース率の影響	53

表 3.1	レールの運搬経路と方法.....	19
表 3.2	使用済レールの運搬経路と方法.....	19
表 3.3	収集したインベントリデータ.....	25
表 4.1	軌道メンテナンス年間CO <sub>2</sub> 排出量.....	28
表 5.1	軌道モーターカーの燃費向上.....	38
表 5.2	レール運搬の鉄道輸送への変更.....	39
表 5.3	PCマクラギへの変更.....	40
表 5.4	PC化初期交換CO <sub>2</sub> 排出量.....	40
表 5.5	PC化後メンテナンス年間CO <sub>2</sub> 排出量.....	40
表 5.6	交換基準延伸.....	41
表 5.7	レール削正手法の検討.....	42
表 5.8	レール削正手法CO <sub>2</sub> 削減予想値.....	42
表 5.9	(1級)中央本線 感度分析結果.....	45

## 第 1 章

### 序論

## 1.1 研究の背景

近年、地球温暖化やオゾン層破壊、酸性雨などといった地球環境問題が深刻化するなかで、その原因となる環境への負荷を低減するための取り組みが数多く行われてきた。しかし、これまでの試みは、製品の使用や廃棄に伴う特定の物質に関する排出の有無や、リサイクル、あるいは処理の容易性など、製品のライフサイクルに関する一部のプロセスのみを評価範囲としたものが多かった。リサイクルや廃棄段階での環境への負荷が少なくても、他のプロセスでの環境負荷が大きいケースもあり、このような場合には、全体としてみると環境への負荷がそれほど少ないとはいえない製品が、逆に環境にとってよいものとして評価されてしまうこともあった。

こうした問題に対して、製品のライフサイクル全体を通しての環境への負荷を、定量的、客観的に把握できる手法として「LCA (Life Cycle Assessment)」が考案された。LCA導入によって、製品やサービスに関してどのプロセスにおける環境負荷が高いかを割り出し、その環境負荷を重点的に低くしていくことで効率的に環境負荷を低減することが可能となった。LCAは国際標準化機構 ISO14040 において規格化されており、出遅れていた日本でもLCAに関する研究が近年急速に拡大し、LCAの概念が普及し始めている。また、規格が制定されたことでLCAの結果を国際規格に基づいて実施した結果として示すことが可能になり、一般企業によるLCA実施例も増加している。

LCAの評価対象は、単一な製品のライフサイクルから複雑な社会システムまで目的に応じて自由に設定することができる。また、環境への影響としては、局地的な環境負荷排出だけでなく、資源・エネルギーの消費や人体の健康・生態学的影響についても評価することが可能となっている。

本研究では、LCAの評価対象として鉄道軌道のメンテナンスを取り上げる。鉄道軌道は列車の繰り返し通過や経年劣化などによって軌道狂いが生じる。列車の走行安定性や乗り心地を確保するためにはレールやマクラギ、道床の交換や、専用作業車によって軌道の狂いを修正するなどの定期メンテナンスが必要となる。軌道のメンテナンスに伴い発生する環境負荷を把握し、環境負荷の削減に向けた方策を検討するためには、LCA的観点からの評価を行うことが必要である。

## 1.2 TC型省力化軌道

従来の軌道（バラスト軌道）は、そのほとんどが土路盤上にあり、列車の通過に伴い軌道の沈下が生じる。そのため、一定の周期で線路保守作業が必要となり多くの人手とコストがかかる。こういった欠点を解消するために、メンテナンスフリーを目指して開発されたのが「TC型省力化軌道」（以下、省力化軌道と略して記す）である。TC型省力化軌道は、てん充填材でバラストを固めたり、マクラギを幅広のPCマクラギに変更するなどして、列車加重の分散性を向上させた構造となっている。また、省力化軌道には60Kレールを使用し、50Nレールを使用した場合に比べて交換数量がより少なくなっている。

こうしたことから、現状の軌道を省力化軌道に変更することによってメンテナンス量が減少し、それに伴ってCO<sub>2</sub>排出量も削減されることが期待できる。しかし、省力化軌道を敷設する際には大量のCO<sub>2</sub>が排出されるため、トータルで考えたときにCO<sub>2</sub>排出量削減効果が現れるのは何年後からとなるか明らかにする必要がある。

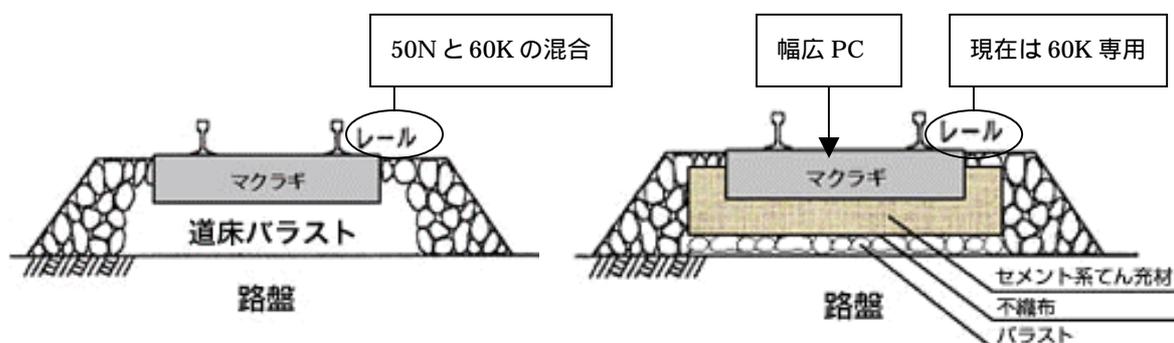


図 1.1 従来の軌道とTC型省力化軌道

（出典：JR東日本HP）

## 1.3 レール削正手法

JR東日本では、レール損傷の一つである「シェリング」の抑制および通トン交換の延伸のためのレール削正手法（レールの表面を研磨し整える手法）の導入を2005年から首都圏を中心に開始している<sup>1</sup>。レール削正によりレールの交換寿命が延び、レール交換数量の削減が見込まれる。この削正手法を、コスト削減策としてではなく、CO<sub>2</sub>削減策としてみた場合のCO<sub>2</sub>排出量削減効果についても検討する必要がある。

## 1.4 研究の目的

鉄道軌道のメンテナンスは、レールやマクラギなどの交換作業、資材の製造、資材の運搬、軌道整備などの様々なプロセスから成り立っている。LCA評価モデルとして軌道メンテナンスのシステムフローを構築し、それらのプロセスのつながりを明確にした上でプロセスごとにインベントリデータを収集する。そのインベントリデータを用いて、軌道のメンテナンスから排出されるCO<sub>2</sub>排出量を把握することを第一の目的とする。また、把握したCO<sub>2</sub>排出量を基にし、メンテナンス作業量の変更や、レールのリサイクル・リユース、レール削正及び省力化軌道への変更といった方策のCO<sub>2</sub>削減効果を検討することを第二の目的とする。

## 1.5 本論文の構成

本論文の構成を以下に挙げる。

- 第1章 序論** では、研究の背景とTC型省力化軌道及びレール削正手法について概説し、研究の目的を示す。
- 第2章 LCA評価の手法** では、LCA評価における基礎的事項、JLCAデータベースとEMLCAについて記述する。
- 第3章 システムフローの構築及びデータ収集** では、軌道メンテナンス及び省力化軌道敷設の各プロセスを検討してシステムフローを構築し、それに沿って収集したインベントリデータを紹介する。
- 第4章 現状軌道メンテナンスにおけるCO<sub>2</sub>排出量の把握** では、第3章で収集データをEMLCAに入力し、軌道メンテナンスの年間総CO<sub>2</sub>排出量を把握する。またメンテナンスのプロセスごとのCO<sub>2</sub>排出量についても考察する。
- 第5章 CO<sub>2</sub>排出量削減方法の検討** では、第4章の結果を踏まえて幾つかのCO<sub>2</sub>削減方法を検討し、その効果を考察する。
- 第6章 結論** では、本研究で得られた結論を総括する。

## 第 2 章

### LCA 評価の手法

## 2.1 LCA手法の概要

LCAは環境評価方法として完全に確立されたものではないが、ISO14040 に準拠して、実施手順として以下の4ステップが定められている<sup>2</sup>。

### 1. 目的と範囲の設定(Goal and Scope Definition)

はじめに、LCAを実施する目的と範囲を明確にすることが重要である。LCAの結果は、これらの設定によって多様な結果を生む。その結果は設定した範囲のみで有効なものであり、それを利用する際にはこれらの前提条件を踏まえた上で行う必要がある。

### 2. インベントリ分析(Life Cycle Inventory Analysis)

LCA対象となる製品やサービスに関して、投入される資源やエネルギー（インプット）および生産または排出される製品・排出物（アウトプット）のデータを収集する。このときいかに信頼できるデータを収集するかが、LCA解析の信頼性に大きく関わる。

### 3. 環境影響度評価(Life Cycle Impact Assessment)

インベントリ分析で得られたデータをもとに作成された製品の物量単位での環境負荷に、何らかの評価数値を掛け合わせて、個々ばらばらの環境負荷数値を各環境評価カテゴリー（地球温暖化、海洋汚染等）で通算し、意思決定者にとって理解しやすいデータに変換する手続きである。

### 4. 結果の解釈(Interpretation)

インベントリ分析やインパクト評価の結果を単独または統合して評価、解釈する段階である。この解釈結果は、LCAを実施した目的と範囲に対応した結論とすることができる。

本研究では、インベントリ分析によってCO<sub>2</sub>排出量を把握することに重点をおき、環境影響度評価については追求していない。ちなみに、環境影響度評価においてCO<sub>2</sub>の地球温暖化係数は1であるので、CO<sub>2</sub>排出量そのまま地球温暖化指数(Global Warming Potential、GWP)となる。

## 2.2 インベントリ分析

インベントリ分析には大別して、プロセス分析法と産業連関法とハイブリット法の3つがある。

### 2.2.1 プロセス分析法

プロセス分析法は積み上げ法とマトリクス法に分けられる。

#### 積み上げ法

積み上げ法とは、LCAの対象とする製品のライフサイクル全体を各段階のプロセスに分解し、各プロセスにおける環境負荷項目の定量的な分析を行ったうえで、環境負荷項目ごとに負荷量を合計する方法である。現在実用的に利用されているLCAソフトウェアの多くは積み上げ法によるものである。長所として、計算作業が比較的簡単なことが挙げられる。しかし、各プロセスの環境負荷を積み上げ、足しあわせるだけといった手法であるので、リサイクルなどを含む複雑なライフサイクルを表現したり、何らかのパラメータを分析時に与えて評価したりすることが困難である。

#### マトリクス法

マトリクス法はライフサイクルの中の基本要素を、環境負荷量などの通常のプロセスデータに加えて、プロセスに対するマテリアルの入出力や、マテリアルの分配等も含めた上で定式化し、境界条件からライフサイクル全体のバランスを考慮することで最終的な負荷量を評価する方法である。長所としてはシステムを忠実に再現しうることであり、リサイクルなどを含む複雑なライフサイクルまでも表現することができる。短所としては、行列計算を扱うため計算が煩雑になることが挙げられる。

### 2.2.2 産業連関法

産業連関法とは、分類された産業や商品ごとに、1年間の投入量と産出量との関連を金額ベースで表現されている「産業連関表」を用いて、原材料やエネルギーがどのようにして調査対象製品に分配されてくるのかをたどって分析していく方法である。産業連関表を利用することで、ある製品の直接・間接のインベントリデータを理論的に算出することができるため、データの客観性が保たれる、再現性が高い、整合性の高い評価が行えるといった利点がある。しかし、産業連関表は多くて500程度の部門にしか分類されていないため、個々の工業製品や技術を分析するには不十分である。また、製品の製造プロセスは不明なため、結果をもとにしたプロセス分析を行うことはできず、環境負荷削減対策の検討等に使える環境負荷データは得られない<sup>3</sup>。

### 2.2.3 ハイブリット法

ハイブリット法はプロセス分析法と産業連関法を融合させた手法である。2つの方法の長所を生かし、それぞれの短所を補完する手法として提案されている<sup>4</sup>。

本研究においては、環境負荷削減策としてプロセスの改善を検討することから、プロセス分析法が適当である。また、鉄道軌道のメンテナンスのプロセスとしてレールのリサイクル、リユースまでも含めて評価することから、プロセス分析法の中ではマトリクス法が適している。マトリクス法の欠点である行列計算の煩雑さは、マトリクス法をベースとして開発された汎用ソフトウェア「EMLCA」を使用することによって解消できる。

### 2.3 マトリクス法

インベントリ分析手法として採用したマトリクス法の定式化について記述する。

LCAのインベントリ分析におけるマトリクス法は線形の仮定に基づく。その仮定とは、ある単一のプロセスにおいて、経済フロー（マテリアル、生産物、副生産物など）と環境的フロー（消費エネルギー、消費資源、排出される汚染物質など）がプロセス機能を果たす分量に比例するというものである。マトリクス法によると、プロセスに投入されたり排出されたりする全ての経済的フローや環境的フローが行列の形で構築される。また行列で全ての生産システムを一括して表現できる。経済的流れは係数マトリクス  $A$  で配列され、環境的流れは環境負荷行列  $B$  に配列される。行列  $A$  と  $B$  においてともに、列がプロセスを表し、行がフローを表す。入力フローは負の係数で、出力フローは正の係数で表現される。経済的フローはマテリアルと同様に扱われる。生産システムの境界における経済フローの境界条件は境界ベクトル  $p$  で与えられ、製品の価値はプロセスベクトル  $p$  で与えられる。そして、以下の公式が導かれる。

$$A p =$$

$$p = A^{-1}$$

$A$  は正方行列であり、 $A^{-1}$  は  $A$  の逆行列である。最終的な環境負荷ベクトル  $p$  は環境負荷マトリクス  $B$  を使って以下のように求められる。

$$= B p$$

$$= B A^{-1} \quad \text{式 1-1}$$

### 2.4 感度分析

多くのLCAインベントリ分析では、環境負荷の積算までで処理を終了してしまっていた。しかし、プロセスの改善解析の段階ではシステム全体のうち、最終環境負荷に最も大きな影響を及ぼす項目を特定することが極めて重要である。このためには、感度分析を行うことが必要である。感度分析によって、各要素が最終環境負荷に及ぼす影響の程度を数

値の形で定量的に表示できるため、環境問題改善のための重要な手がかりを得ることができる。

汎用ソフトウェアEMLCAでは、変動率感度を採用している。変動率感度として次のように定義されている<sup>5</sup>。

$$s_{ij} = \frac{\Delta L / L}{\Delta a_{ij} / a_{ij}} \quad \text{式 1-2}$$

ここで、 $a_{ij}$ はマトリクスAの*i*行*j*列成分であり、プロセス*j*の第*i*マテリアルの要素である。この変動率感度を計算するために主に二つの方法がある。一つは直接法であり、 $a_{ij}$ が微小の値  $a_{ij}$ だけ変化した場合に、 $a_{ij}$ に伴う新たな係数マトリクスAを再構築した上で、式 1-1 を再度解き、環境負荷項目Lの微小変動  $L$ を評価する方法である。ところが、この方法では、係数マトリクスAの逆マトリクスをその度ごとに再評価しなければならない。マトリクスのサイズと環境負荷の項目数が大きくなると、計算負荷が膨大になる。もう一つは摂動法を利用したマトリクス法である。この方法によると、どの要素を変動させる場合であっても、逆マトリクスは1回のみ試算しておけばよい。一般に逆マトリクス計算には多くの時間が必要となるため、プロセス数や環境負荷項目が増大した場合には有利となる。また、マトリクス法によるLCA評価と組み合わせることにより、一般性のある手続きにて感度値の評価が可能となる。

## 2.5 汎用ソフトウェアEMLCA

本研究ではLCA解析を行うにあたって、汎用ソフトウェア「EMLCA」を用いた。EMLCAはエクセル上で機能するソフトであり、アドインとして提供されている。また、JLCAデータベースのプロセスデータを利用するために、ダウンロードされたデータをそのまま読み込むことができる。

EMLCAの主な機能としては、環境負荷計算、環境影響度評価、感度分析、不確実性分析などがあり、環境負荷計算については、マトリクス法を基にしてプログラムされている。また、感度分析には摂動法を利用している。

マトリクス法を基にしているEMLCAを利用するに当たっては、LCA解析を行うシステムを、プロセスに分解し、それらのプロセスがつながってできたものとしてシステムを記述する必要がある。例えば、LCA解析を行うシステムとして軌道のメンテナンスをあげるとすると、軌道のメンテナンスはレール交換、マクラギ交換などのプロセスから成り立ち、更にレール交換はレールの製造、レールの運搬などといったプロセスから成り立つというように、プロセスのつながりを記述することが重要である。EMLCAにはJLCAデータベースのプロセスデータを利用するために、ダウンロードされたデータをそのまま読み込む機能が付属している。

## 2.6 J L C Aデータベース

経済産業省ならびにNEDO技術開発機構の推進の平成10年度から平成14年度にかけて実施した5ヵ年の「第1期LCAプロジェクト」の成果として構築された、データベースである<sup>6</sup>。J L C Aデータベースには、バックグラウンドデータとして共通使用できるインベントリデータと、環境影響評価に利用できる特性化係数や被害係数などのリストが掲載されている。

J L C Aデータベースには54の工業会によって提供された、あるいは、L C Aプロジェクトが独自に調査して収集した、合計約550のインベントリデータが登録されている。各インベントリデータには、主要製品の製造、廃棄リサイクル過程、資源採掘、エネルギー生産、輸送などに関するプロセスデータが記載されている。現在もデータの追加や修正が行われており、更なる発展が見込まれている。

インベントリデータは、一般的に「フォアグラウンドデータ」と「バックグラウンドデータ」の2つに分けられる。「フォアグラウンドデータ」とは、L C A実施者自らの実績値・実測値をもとに自ら構築するデータである。「バックグラウンドデータ」とは、資源採取、電力、燃料の生産、輸送に関する公的なデータである<sup>7</sup>。L C A実施においては、比較的精度の高いフォアグラウンドデータを補足するものとして、データベースなどのバックグラウンドデータを適宜活用することが推奨されている。

## 第 3 章

### システムフローの構築及びデータ収集

### 3.1 緒言

本章では、LCA解析を行う前段階として、現状軌道メンテナンス及び省力化軌道敷設のシステムフローの構築と、それにもとづいたインベントリデータの収集を行う。システムフローとは、LCA評価対象を製造、輸送、使用、廃棄、リサイクルといった様々なプロセスから成り立つシステムとしてみたとき、その対象を各プロセスの一連のつながりとして表現したものである。LCA評価モデルとなるシステムフローを構築することで、プロセス別のLCAインベントリデータを作成するにあたって、各プロセスの位置づけや、各プロセスの入力・出力が明確になるため、効率的なデータ収集を行うことが可能になる。

### 3.2 対象線区

線路は、輸送量や重要度及び経済的観点から、満たすべき構造、整備方法を区分するため、線路等級を規定している。本研究では、LCA分析を行うにあたって、線路等級ごとに対象線区を設定し分析を行った。具体的には、線区ごとの平均値を算出し、全区間MTT施工周期、軌道構造が平均に近い線区から選出した。

[1 級線] 平均MTT施工周期 1.7年

**東京 山手線 (品川～新宿～田端)**

- ・ 平均通トン 43.9 百万トン、MTT施工周期 55.7年
- ・ 軌道延長の3/4に省力化軌道が敷設済みであり、軌道整備数量等が大幅に減少している。
- ・ 省力化軌道敷設区間のモデルケースとして選定

**八王子 中央本線 (吉祥寺～高尾)**

- ・ 平均通トン 43.9 百万トン (山手線と同じ)、MTT施工周期 1.7年
- ・ 線区のほとんどがバラスト区間、60Kレール、PCマクラギであり、省力化軌道との対比ができる。

[2 級線] 平均MTT施工周期 2.3年

**盛岡 東北本線 (石越～盛岡、八戸～青森)**

- ・ 平均通トン 12.4 百万トン、MTT施工周期 2.3年
- ・ 線区の大部分がバラスト区間、50Nレール、PCマクラギである。

[3 級線] 平均MTT施工周期 2.2年

**新潟 羽越本線 (新津～酒田)**

- ・ 平均通トン 7.9 百万トン、MTT施工周期 2.2年
- ・ 線区の大部分がバラスト区間、50Nレール、PCマクラギである。

[4 級線] 平均 M T T 施工周期 4 . 1 年

水戸 水郡線 (水戸 ~ 安積永盛)

- ・ 平均通トン 0.9 百万トン、M T T 施工周期 4.1 年
- ・ 線区の大部分がバラスト区間、5 0 N レール、木マクラギである。

軌道のメンテナンスに関しては、年間通過量 (平均通トン量) が多い程、その頻度が高くなり、それに伴って発生する環境負荷も多くなることが予想できる。

### 3.3 軌道メンテナンスシステムフローの構築

軌道のメンテナンスは、大きくレール交換、マクラギ交換、道床交換、軌道保守作業 (M T T ・ B R 施工) の 4 つのプロセスに分けられる。それぞれのプロセスについて、供給資材の製造、発生資材の廃棄、リサイクル、輸送などに関するプロセスフローを構築し、それらを合わせることによって、軌道メンテナンス全体のシステムフローを構築する。

#### 3.3.1 レール交換

列車が走行すると、レールは車輪から様々なストレスを受けて、ついには、損傷したり磨耗するなどしてレールとしての機能を失う。安全・安定輸送のためにはレールとしての機能を失う前に新しいレールに交換する必要がある。このためレール交換には多くの費用がかかっている。それと同時に、鉄であるレールの製造時には多くの C O 2 が排出されている。

しかし、良質な鉄であるレールは、様々な鉄製品の原料として有効にリサイクルされることから、鉄鉱石から新しく鉄を製造するのに排出される分だけ C O 2 削減の効果があるともいえる。こういったことから、レール交換に関してはリサイクルまでも含めたプロセスを構築することが、より正確で信頼できる L C A 結果を得るために必要であると考えた。

レール交換のプロセスを展開すると次の主なプロセスに分類できる。以下に各プロセスについて記述する。

#### レールの製造

軌道に使用されているレールには 6 0 K レール (60kg/m) と 5 0 N レール (50kg/m) がある。今のところ、レールの製造に関するプロセスデータはデータベースに記載されていない。鉄鋼会社のウェブサイト<sup>8</sup>によると、レールは型鋼に分類されている。これを理由として、レールの製造プロセスはデータベースに登録されている型鋼の製造プロセスで代用することにした。型鋼を製造するために必要な資源を工場まで運搬する際の環境負荷も型鋼の製造プロセスデータに含まれている。

### レールの運搬

レールの運搬経路と運搬方法に関して、以下にまとめた。

表 3.1 レールの運搬経路と方法

経路	運搬方法	主な使用データ
メーカー(北九州 or 福山)～埠頭	鉄鋼運搬船	内航海運(JLCA)
埠頭～レールセンター	舩	内航海運(JLCA)
レールセンター～材料基地	機関車	列車輸送、電力生産(JLCA)
材料基地～交換現場	MC(モーターカー)	MC 燃費(JR 東)、軽油燃焼(環境省)

### レール交換

レールの年間交換量は J R 東提供データに準じた。レール交換の作業自体から発生する環境負荷は、全体に比較して微量なのでカットオフした。レール交換プロセスでは、レールが入力され、使用済レールが出力される。

### 使用済レール運搬

使用済レールの運搬経路と運搬方法に関して、以下にまとめた。

表 3.2 使用済レールの運搬経路と方法

経路	運搬方法	主な使用データ
材料基地～交換現場	MC(モーターカー)	MC 燃費(JR 東)、軽油燃焼(JLCA)
材料基地～リサイクル資材センター	トラック	10tトラック運搬(JLCA)

### レールのリユース

レール交換作業で発生した使用済レールは、損傷の具合を検査した上で問題がなければ再使用することができる。レールのリユースプロセスを設定し、使用済みレールを再使用することを考慮した。再使用されなかったレールは、廃棄レールとしてリサイクルプロセスに入力される。J R 東日本提供データにはレールのリユース率に関する明確なデータがなかったため、本研究においては基本的にリユース率は 0 % として評価する。

### レールのリサイクル

リユースされずに廃棄したレールはシステム内で鉄屑としてリサイクルする。J L C A データベースによると、レールの製造プロセスとして代用した型鋼の製造プロセスには鉄屑が入力されており、1 k g の型鋼を製造するために必要な鉄屑は 0.72 k g となっている。従って、レールのリサイクルループにおいては、1 k g の廃棄レールが 1 k g の鉄屑となり、そのうち 0.72 k g の鉄屑がレールの製造に使用され、0.28 k g の鉄屑が

余ることになる。本 L C A 解析においては、この余った鉄屑も何らかの鉄製品の原料としてリサイクルされるとした。そこで、鉄屑を鑄鉄として代替し、鑄鉄の製造時に発生する C O 2 をシステム内で減算することで対応した。

実際のレールのリサイクルについては、廃棄レールからの鉄屑が、直接的にレールの製造に用いられているのではない。システム内でリサイクルされるという前提条件のもとで、廃棄レールからの鉄屑が、直接レールの製造に入力されるというように設定した。鉄屑を一度システム外に出力した場合でも L C A 結果は同じである。

レールのリサイクル率は、廃棄レールが鉄屑になる割合で表すことにする。例えば、廃棄レール 1kg から 0.5kg の鉄屑が発生する場合は 50% となる。この場合残り 0.5kg の廃棄レールはシステム外で処分されたとして追及しないこととする。

～ のプロセスから構築したレール交換のプロセスフローを以下に示す。

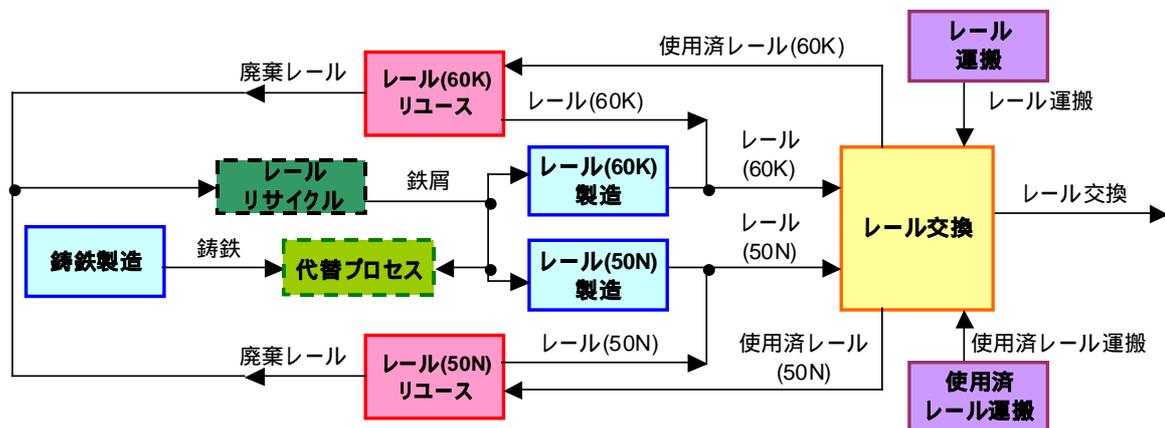


図 3.1 レール交換のプロセスフロー

### 3.3.2 マクラギ交換

マクラギもレール同様に列車からの荷重を支える部材であり、損傷が発生する。そのため定期的な交換が必要である。現在は基本的にマクラギのリユースやリサイクルは行われておらず、産業廃棄物として処分されている。マクラギの種類としては、コンクリートを鉄筋で補強した P C マクラギと木製の木マクラギがある。マクラギ交換のプロセスを次のように展開した。

#### マクラギ製造

P C マクラギの原料となるコンクリートの製造プロセスと鉄筋製造のプロセスから P C マクラギの製造プロセスを構築した。木マクラギについては、木材の採取プロセスをそのまま木マクラギの製造プロセスとして適用した。

#### マクラギ運搬

マクラギは、メーカー～材料基地～現場までトラックにより運搬されている。トラックの燃料である軽油の燃焼だけでなく、軽油の生産過程においてもCO<sub>2</sub>が発生する。

#### マクラギ交換

マクラギ交換の作業自体から発生する環境負荷は、全体に比較して微量なのでカットオフした。

#### 使用済マクラギ運搬

使用済マクラギは、現場～産廃処分場までトラックにより運搬されている。

#### 使用済マクラギ廃棄

使用済マクラギは産廃処分場で処分されるが、PCマクラギ、木マクラギは原料が天然資源であり特に有害な化合物などを含んではないため、処分場では放置処分されていると仮定し、廃棄の環境負荷はゼロとした。

### 3.3.3 道床交換

道床はレール、マクラギの荷重を分散して受け止める働きがある。荷重が作用することによって、こすれて磨耗したりするため定期的な交換や補充が必要である。マクラギ交換のプロセスを次のように展開した。

#### バラストの採取

道床はバラストと呼ばれる砕石で作られている。バラストの採取のプロセスデータはデータベースの採石の採取を用いた。バラストの密度は1.5t/m<sup>3</sup>とした。

#### バラストの運搬

バラストは、メーカーから現場までトラックにより運搬されている。

#### 道床交換

道床交換作業に関しては、環境負荷を発生する作業データを収集できなかったことと、人間が手作業で行うことが多いことから環境負荷は全体と比較して微量ととらえ、ゼロと仮定した。交換によって廃棄バラストが発生する。

#### 廃棄バラストの運搬

廃棄バラストは現場から産廃処分場までトラックで運ばれる。

### 廃棄バラストの処分

マクラギの処分と同様に産廃処分場にて処分される。マクラギ同様、バラストも放置処分と考え廃棄による環境負荷はゼロとした。

#### 3.3.4 MTT・BR 施工

バラスト軌道は列車の通過による荷重や振動により、軌道に狂いが生じやすいため定期的な保守作業が必要になる。バラストをつき固めることによりバラストの密度を一定にし、同時に軌道の歪みを補正する作業車がMTT（マルチプルタイタンパー）である。また、MTTを施工したのちにBR（バラストレギュレーター）により軌道整備の仕上げを施す。

これらの作業車は軽油を燃料としているため、軽油の燃焼、軽油の生産プロセスまでも含めて評価する必要がある。

#### 3.3.5 軌道メンテナンスシステムフローの構築

ここまでは、レール交換、マクラギ交換、道床交換、MTT・BR 施工といった4つのメインプロセスに関してのプロセスフローを構築した。これらのプロセスフローを全体の軌道メンテナンスプロセスに入力することで、軌道メンテナンスシステムフローを構築した。

軌道メンテナンスシステムフローを図3.2に示す。なお、電力の生産やガソリンのなどのエネルギーに関するプロセスはほぼすべての製造プロセスに入力され、表示するのが困難であったため省略した。また、コンクリートの製造プロセスや、レールや鋳鉄などの製造プロセスなどは、それに付随するプロセスが多数ある。このような細かいプロセスは表示しきれないため省略してある

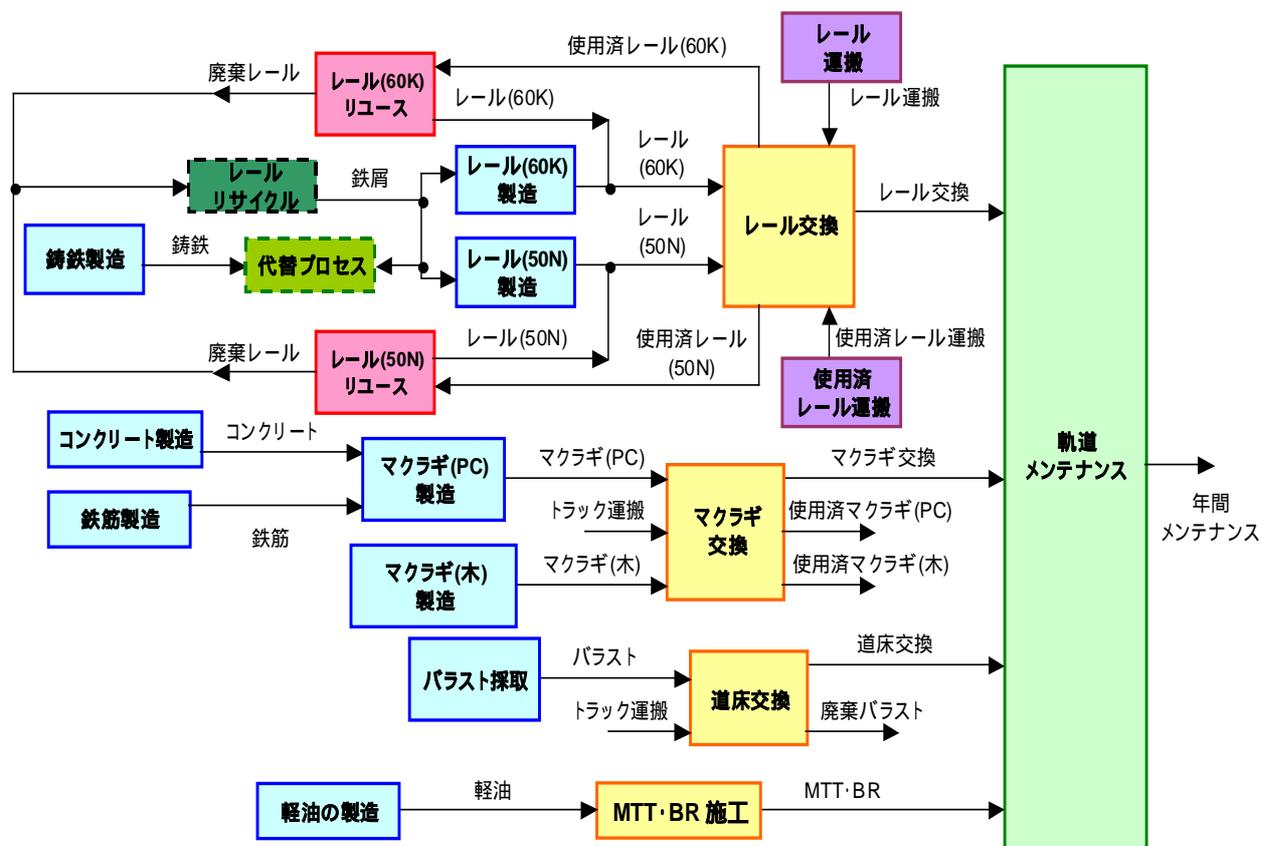


図 3.2 軌道メンテナンスシステムフロー

### 3.4 省力化軌道敷設システムフローの構築

省力化軌道を敷設する際の主な作業として、以下のものがある。

現状軌道のレールを交換する。

現状軌道の木マクラギ、PCマクラギを全て幅広PCマクラギに交換する。

バックホウ（BH）によって現状軌道の道床を新しい道床に交換する。

てん充MC（モーターカー）によって、道床にてん充材を注入し固める。

MTTによって軌道整備を行う。

MCによる各資材の運搬

～ の作業内容をもとに省力化軌道敷設のシステムフローを構築した。なお、書き記したプロセスの下につながる細かいプロセスは省略してある。省力化軌道のレール交換のプロセスについては、5.3.1 設定条件 において記述するので省略した。以下に構築したシステムフローを示す。

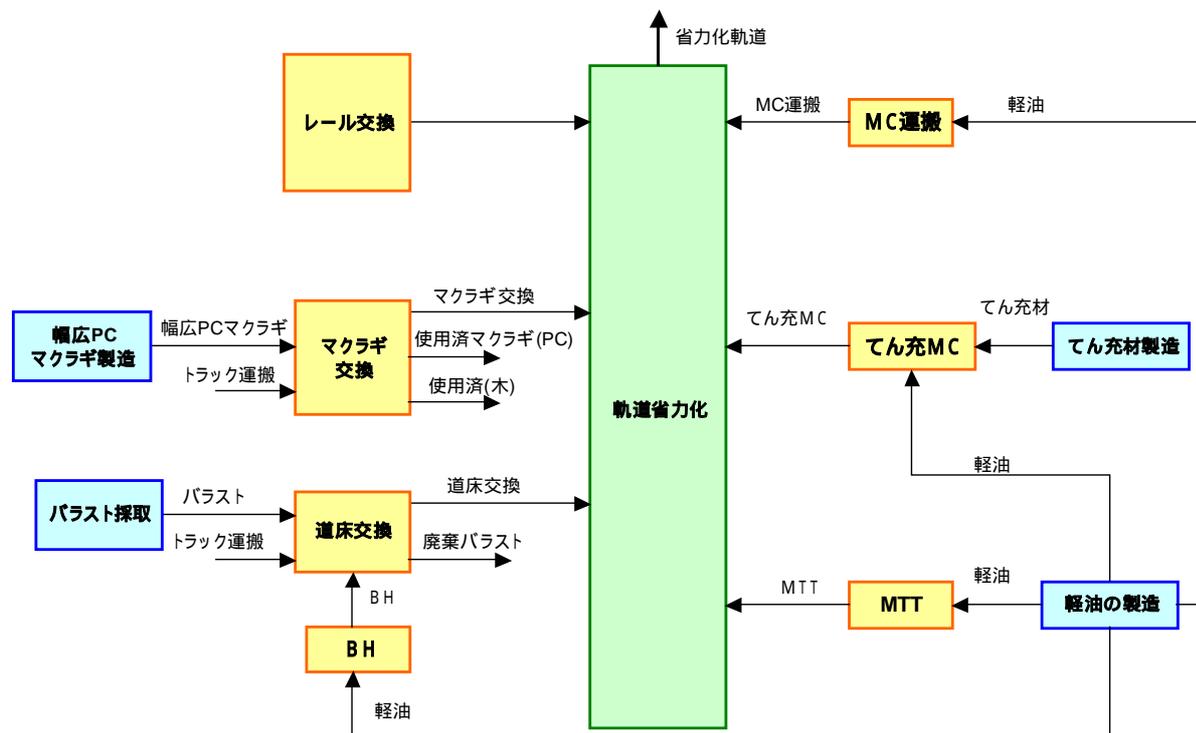


図 3.3 省力化軌道敷設システムフロー

### 3.5 データの収集

構築したシステムフローをもとにインベントリデータを収集する。現状の軌道メンテナンスにおける各資材の交換数量や運搬距離、運搬方法、作業車燃費、資材の組成などに関する年単位データに関しては、2002-2004 の平均のデータがJR東によって提供された。しかし、システムフローにある運搬や、各資材の製造、エネルギー生産などのプロセスに関してのデータはJR東の内部データとしては提供されていない。よって、バックグラウンドデータとして共通使用できるデータを収集する必要がある。本研究では、このバックグラウンドデータの収集先をJLCAデータベースとした。JLCAデータベースに記載されていない主要な物資に関するデータは文献から収集した。

表 3.3 にプロセスごとに収集したデータを列挙する。各プロセスにはそのプロセスの中で最も重要な材料が一つずつ存在し、機能フローと名づけられている。機能フローは他のプロセスとのつながりを作る役割を担っている。なお、材料やエネルギーの製造プロセスに入力される材料のうちで、JLCAデータベース内で発見できなかったものに関しては、その使用量が微小なため最終的な環境負荷への影響が小さいとし、無視することにした。

表 3.3 収集したインベントリデータ

	プロセス	機能フロー	単位	データ元、備考
1	軌道メンテナンス	軌道メンテナンス	年	--
2	レール交換	レール交換	年	JR東 2002-2004平均
3	レール運搬	レール運搬	t	JR東 2002-2004平均
4	使用済レール運搬	レール運搬	t	JR東 2002-2004平均
5	MC運搬	MC運搬	t	JR東 2002-2004平均
6	マクラギ交換	マクラギ交換	年	JR東 2002-2004平均
7	道床交換補充	道床交換補充	年	JR東 2002-2004平均
8	MTT・BR	MTT・BR	年	JR東 2002-2004平均
9	レール(60K)製造	レール(60K)	Rkm	型鋼代替
10	レール(50N)製造	レール(50N)	Rkm	型鋼代替
11	レール(60K)リユース	使用済(60K)レール	Rkm	--
12	レール(50N)リユース	使用済(50N)レール	Rkm	--
13	鉄鋼運搬船運搬	鉄鋼運搬船運搬	t・km	内航海運 JLCA 2002
14	舁運搬	舁運搬	t・km	内航海運 JLCA 2003
15	機関車運搬	機関車運搬	t・km	鉄道輸送 JLCA 1994
16	トラック運搬	トラック運搬	t・km	JLCA 2002
17	軽油生産	軽油	l	JLCA 2000
18	マクラギ(PC)製造	マクラギ(PC)	本	JR東
19	マクラギ(木)製造	マクラギ(木)	本	JR東
20	バラストの採取	バラスト	m <sup>3</sup>	砕石採取 JLCA 2001
21	型鋼の製造	型鋼	kg	JLCA 2003
22	鋳鉄代替	鉄屑	kg	--
23	電力生産	電力	kWh	JLCA 2000
24	原油生産	原油	l	JLCA 1998
25	生コンクリート生産	コンクリート	kg	JLCA 2001
26	鉄筋の製造	鉄筋	kg	JLCA 2003
27	木材採取原単位	木材	kg	科学工業日報 1998
28	廃棄レールリサイクル	廃棄レール	t	--
29	鋳鉄の製造	鋳鉄	kg	JLCA 2003
30	A重油生産	A重油	l	JLCA 2000
31	一般炭の採掘(平均)	石炭	kg	JLCA 2002
32	LPGの採掘(平均)	LPG	kg	JLCA 2002
33	LNG(都市ガス13A用)	LNG	kg	JLCA 2004
34	ポルトランドセメント製造	ポルトランドセメント	kg	JLCA 2004
35	砕石	砕石	kg	JLCA 2001
36	砂	砂	kg	JLCA 2001
37	石灰石採掘	石灰石	kg	JLCA 1998
38	ガソリン生産	ガソリン	l	JLCA 2000
39	灯油生産	灯油	l	JLCA 2000
40	低硫黄C重油の生産	C重油	l	JLCA 2000
--	軽油の燃焼			環境省 2002
1	軌道省力化	省力化	回	--
2	省力化レール交換	省力化レール交換	回	JR東
3	省力化マクラギ交換	省力化マクラギ交換	回	JR東
4	省力化道床交換	省力化道床交換	回	JR東
5	省力化MC(砕石)	MC	km	JR東
6	BH施工	BH	km	JR東
7	省力化MTT	MTT	km	JR東
8	省力化てん充MC	省力化てん充MC	km	JR東
9	幅広PCマクラギ製造	幅広PCマクラギ	本	JR東
10	てん充材(モルタル)製造	てん充材	m <sup>3</sup>	モルタル JLCA 2001

### 3.6 結言

本章では最終的な環境負荷量を求める前段階として、軌道メンテナンス及び省力化軌道敷設のシステムフローを構築し、各ユニットプロセスに関してインベントリデータを収集した。インベントリデータの精度がLCA結果の信頼度を左右する。本研究では、バックグラウンドデータの収集元として、JLCAデータベースを利用した。JLCAデータベースにはまだまだ不足するデータが多いが、今回必要なデータは大体収集することができた。次章では、これらのインベントリデータをEMLCAに入力し、各線区に対して現状の軌道メンテナンスから発生する年間CO<sub>2</sub>排出量を把握する。

## 第4章

### 現状軌道メンテナンスにおけるCO<sub>2</sub>排出量の把握

#### 4.1 緒言

ここでは、第3章で構築した軌道メンテナンスシステムフローに沿って収集したデータをLCA解析ソフトEMLCAに入力し、現状の把握として軌道メンテナンスの年間CO<sub>2</sub>排出量を求める。そして、線区ごとのCO<sub>2</sub>排出量を比較し、線区の等級とCO<sub>2</sub>排出量の関係を考察する。また、CO<sub>2</sub>排出に大きく関与しているプロセスはこういったプロセスかについて検証する。

#### 4.2 軌道メンテナンス年間CO<sub>2</sub>排出量

収集したインベントリデータをEMLCAに入力し、軌道メンテナンスにおける年間CO<sub>2</sub>排出量を求める。

##### 4.2.1 設定条件

- ・1級～4級までの各線区について軌道メンテナンス年間CO<sub>2</sub>排出量を求める。
- ・EMLCAの入力で、境界条件、つまり軌道メンテナンスの機能単位は1年間とした。
- ・レールのリサイクル率は100%、レールのリユース率は0%とした。
- ・システム境界に関してはメンテナンスに必要なレール、マクラギ、道床などは素材採取から廃棄、リサイクルまで含める。輸送に関しては、各資材メーカーから交換現場、交換現場から廃棄施設及びリサイクルセンターまでの輸送を含む。燃料となる軽油や重油などについてはその生産プロセスも含める。

##### 4.2.2 計算結果

各線区ごとの軌道メンテナンス年間CO<sub>2</sub>排出量を表4.1に示す。また、線区間の比較をするために、各線区のCO<sub>2</sub>排出量をそれぞれの軌道延長の距離で割り、単位軌道延長あたりのCO<sub>2</sub>排出量を示したグラフを図4.1に示す。

表 4.1 軌道メンテナンス年間CO<sub>2</sub>排出量

		a: 軌道メンテナンス年間CO <sub>2</sub> 排出量(t/年)	b: 軌道延長(km)	単位軌道延長当たり: a/b (t/年・km)
1級	山手線	207.4	41.2	5.0
	中央本線	459.4	63.9	7.2
2級	東北本線	1436.0	414.5	3.5
3級	羽越本線	692.0	266.5	2.6
4級	水郡線	251.4	135.0	1.9

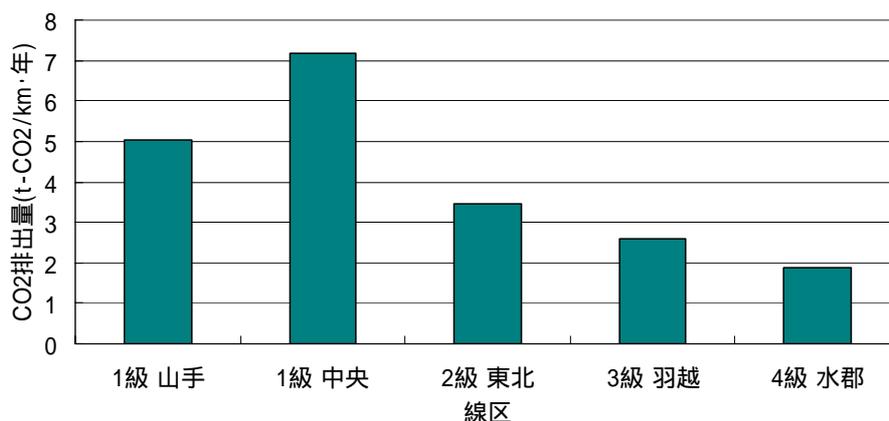


図 4.1 単位軌道延長あたりの軌道メンテナンス年間CO<sub>2</sub>排出量

#### 4.2.3 考察

表 4.1 から、軌道メンテナンスの年間CO<sub>2</sub>排出量が最も大きい線区は2級東北本線であり、年間1436tである。この量は最も少ない4級水郡線の約6倍となっている。よって、どの線区に関して重点的にCO<sub>2</sub>削減の方策を考えるべきかといえ、2級東北本線であるといえる。

図 4.1 から年間CO<sub>2</sub>排出量を単位軌道延長あたりのCO<sub>2</sub>排出量で見ると、等級が上がるにつれCO<sub>2</sub>排出量は増加する傾向がある。これは、等級が上の線区ほど年間通過量が多く、それに伴って単位軌道延長あたりのメンテナンス量も増加するためである。値を見ると、1級中央本線のCO<sub>2</sub>排出が8.5t/kmで最大となっており、これは4級水郡線の約3.5倍である。

山手線と中央本線は同じ1級線であり通過トン数がほぼ同じである。しかし、図 4.1 の単位軌道延長あたりのCO<sub>2</sub>排出量に関しては、山手線は中央本線の約7割にとどまっている。この理由としては、山手線は省力化軌道への移行が完了しているため、マクラギや道床の交換及びMTT施工作業がほとんど必要ないということが考えられる。

### 4.3 各プロセスからのCO<sub>2</sub>排出量

#### 4.2.1 各プロセスからのCO<sub>2</sub>排出量

前節において、各線区について軌道のメンテナンスに伴うCO<sub>2</sub>排出量の総計を調べることができた。CO<sub>2</sub>排出量の削減を検討するためには、まず軌道メンテナンスのプロセスごとのCO<sub>2</sub>排出量を把握することが重要である。以下に各線区についてのプロセスごとのCO<sub>2</sub>排出量を示す。横軸にプロセス名、縦軸にCO<sub>2</sub>総排出量に対する割合を示す。

レールを型鋼で代替したため、型鋼の製造プロセスからのCO<sub>2</sub>排出量がレールの製造時のCO<sub>2</sub>排出量である。また、EMLCAの性質上、PCマクラギ製造のCO<sub>2</sub>排出量は、その原料となるポルトランドセメントの製造プロセスに現れていることに注意されたい。

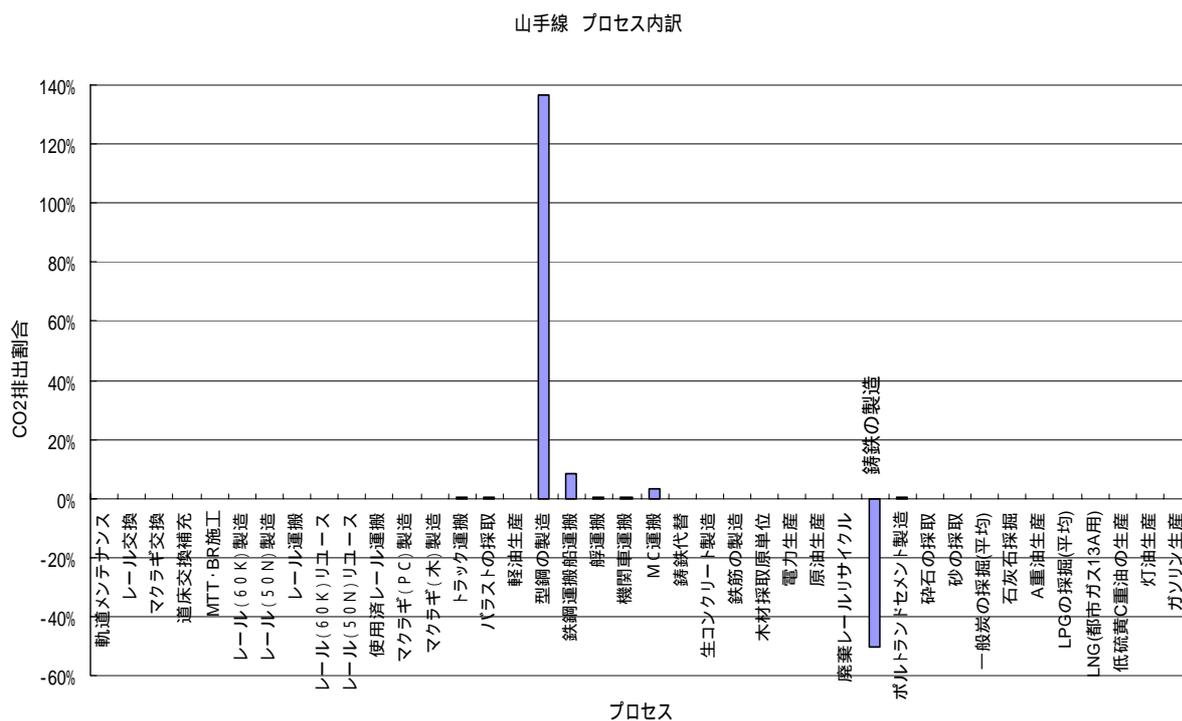


図 4.2 (1級) 山手線軌道メンテナンスCO<sub>2</sub>排出量内訳

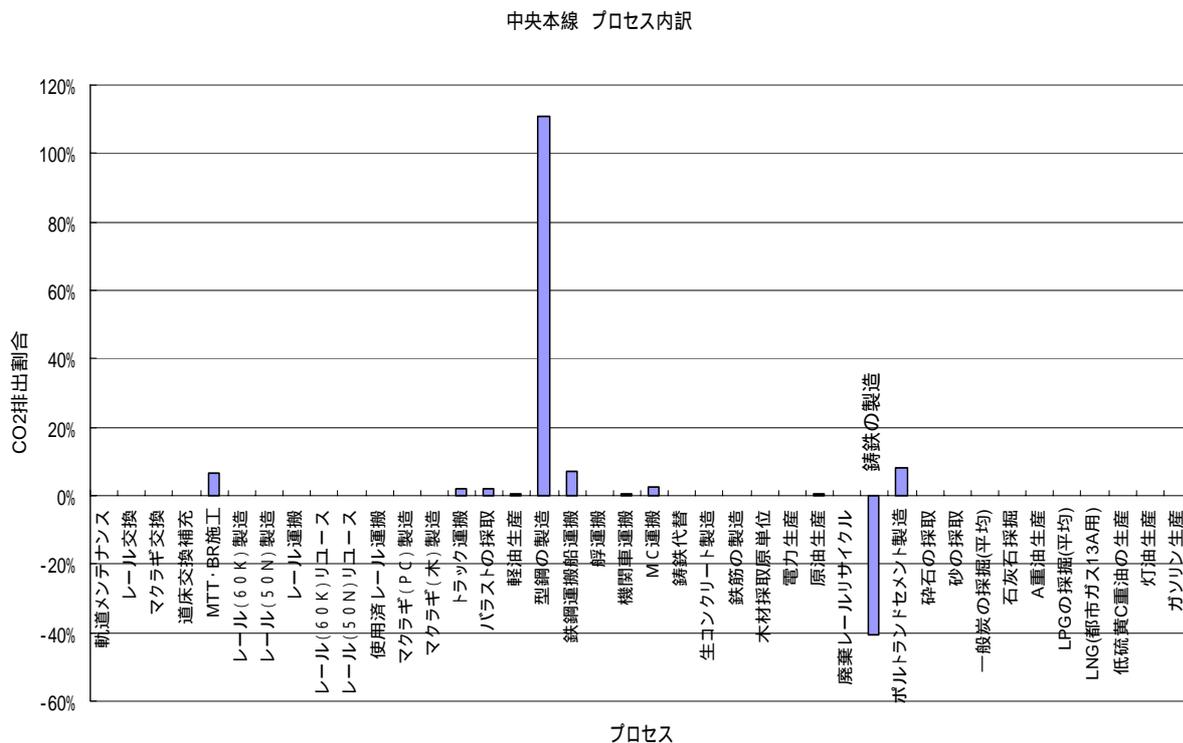


図 4.3 (1級) 中央本線軌道メンテナンスCO<sub>2</sub>排出量内訳

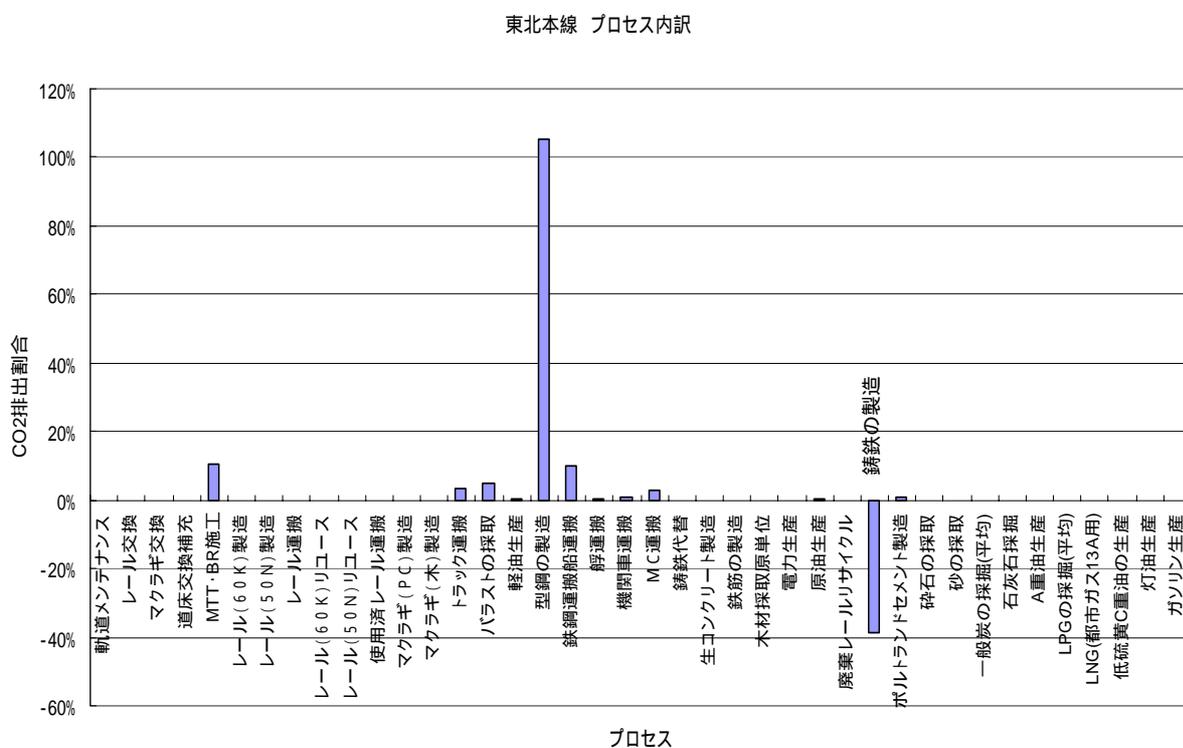


図 4.4 (2級) 東北本線軌道メンテナンスCO<sub>2</sub>排出量内訳

羽越本線 プロセス内訳

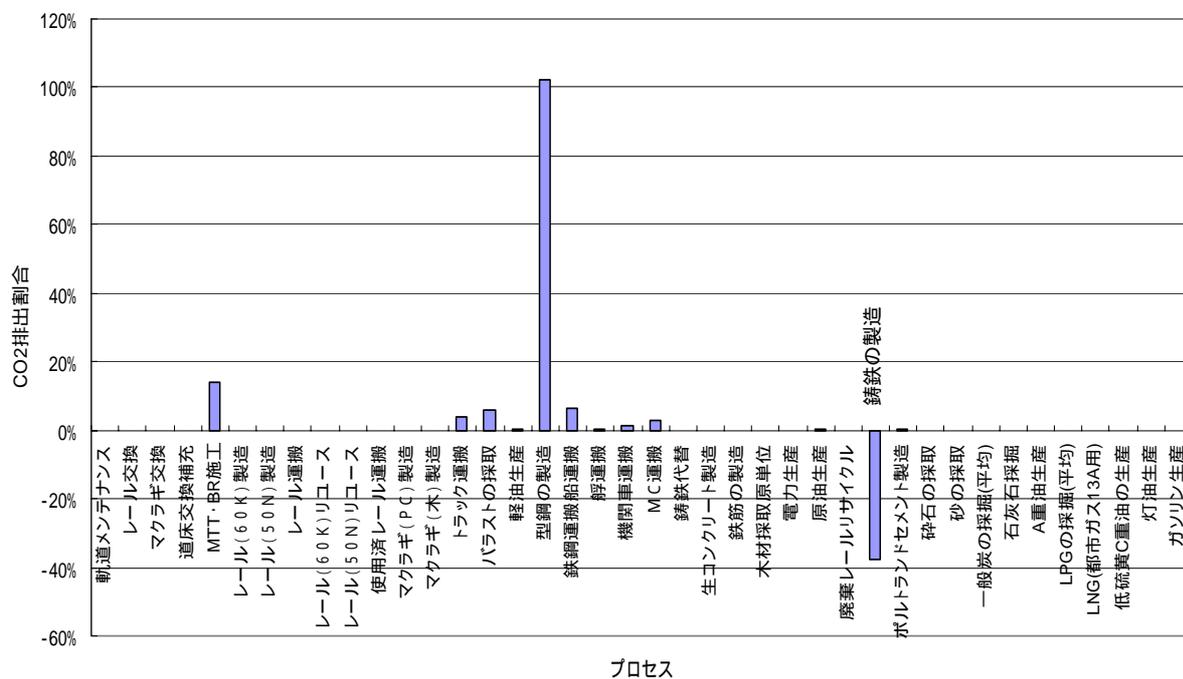


図 4.5 (3級) 羽越本線軌道メンテナンスCO2排出量内訳

水郡線 プロセス内訳

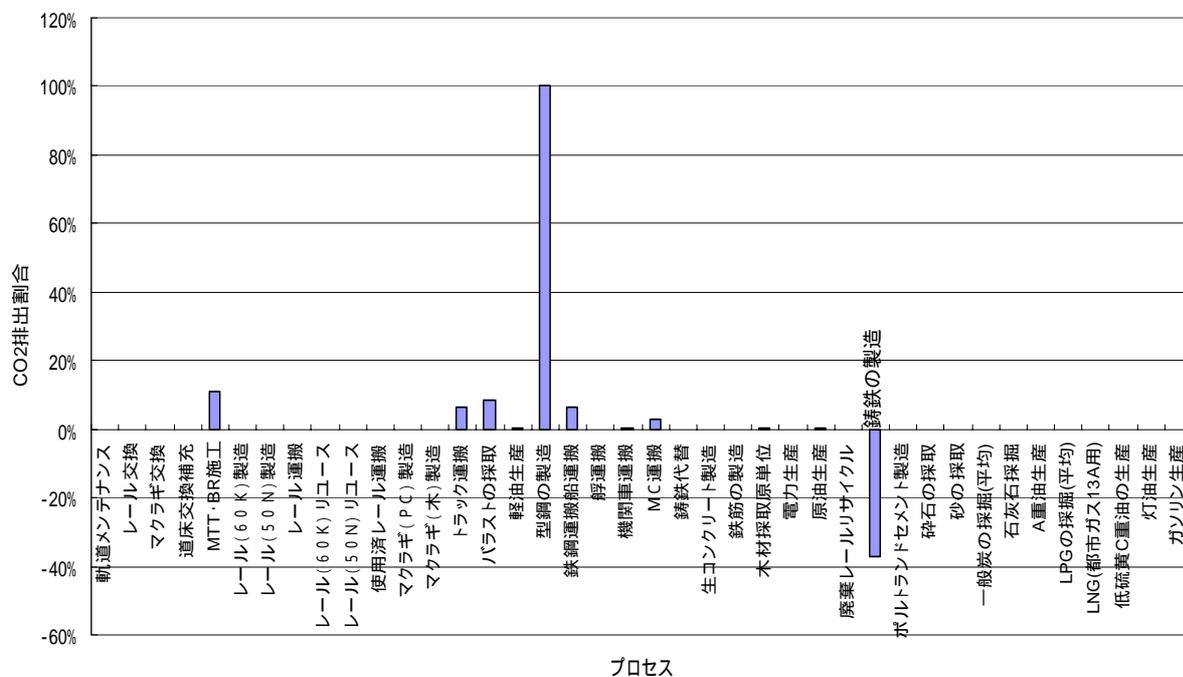


図 4.6 (4級) 水郡線軌道メンテナンスCO2排出量内訳

#### 4.3.2 考察

図 4.2 から山手線の各プロセスについて見てみると、型鋼（レールとして代用した）の製造プロセスが総CO<sub>2</sub>排出量のうちの大部分を占めていることが見て取れる。その割合が140%近いのはレールのリサイクルを考慮したためであり、リサイクルの結果として鑄鉄の製造プロセスではCO<sub>2</sub>排出割合が-50%になっている。つまり、約 $140 - 50 = 90\%$ がリサイクルを含めたレールの製造プロセスが総CO<sub>2</sub>排出量に占める割合であるといえる。同様に考えてレール製造の占める割合は、中央本線、東北本線、羽越本線、水郡線について順に約70%、65%、65%、60%となる。このように、全線区を通してレールの製造プロセスの割合が最も大きく、全体の半分以上を占めていることが分かった。よって、レールの製造工程におけるCO<sub>2</sub>排出量を削減することが全体のCO<sub>2</sub>削減に最も大きく影響を与えるといえる。

山手線は省力化軌道への移行が進んでいるため、他の線区と比較するとMTT・BR施工プロセスやバラストの採取プロセス、及びPCマクラギの原料であるポルドラントセメントの製造プロセスの割合が少なくなっていることが見て取れる。

トラック運搬、鉄鋼運搬船、舢舨、機関車、MCなどの運搬に関するプロセスのなかでは、全線区を通して鉄鋼運搬船の割合が比較的大きく5~10%前後である。これは鉄鋼運搬船の運搬距離が1000km以上と長いことや、船舶輸送のCO<sub>2</sub>排出原単位が他の輸送方法に比較して多いことが主な理由として考えられる。

また、A重油やC重油、ガソリン及び灯油などのエネルギーの生産に伴うCO<sub>2</sub>排出量の割合はほぼ0%である。従って、例えこれらのエネルギーの生産に伴うCO<sub>2</sub>排出量が増加したり、減少したりした場合でも最終的なCO<sub>2</sub>排出量にはほとんど影響しないといえる。バラストの採取プロセスの割合については、等級が低くなるにつれて大きくなり、水郡線においては約10%となっている。

木マクラギの生産プロセスとして用いた木材の採取プロセスの割合は、木マクラギの年間交換量が最も多い水郡線においても非常に少なくほとんど0%である。

#### 4.4 結言

本章では、軌道メンテナンスシステムフローをもとに軌道メンテナンスに伴う年間CO<sub>2</sub>排出量を計算し、線区の等級とCO<sub>2</sub>排出量の関係を調べた。次いで山手線と中央本線を比較することで省力化軌道のCO<sub>2</sub>削減効果を確認した。また、軌道メンテナンスシステムフローにおける各プロセスのCO<sub>2</sub>排出割合を求め、レールの製造時のCO<sub>2</sub>排出割合が最大で全体の90%（山手線）を占めることを示した。次章では、これらの結果をもとにCO<sub>2</sub>排出量削減に向けた方策を検討する。

## 第 5 章

### CO<sub>2</sub>排出量削減方法の検討

## 5.1 緒言

前章において、軌道メンテナンスにおける年間CO<sub>2</sub>排出量と、軌道メンテナンスシステムを構築する各プロセスからのCO<sub>2</sub>排出量を把握することができた。本章では、前章の結果を基に、幾つかのCO<sub>2</sub>削減方法を検討し、その効果を評価する。

## 5.2 現状軌道におけるCO<sub>2</sub>排出量削減

現状軌道のメンテナンスに関するCO<sub>2</sub>削減策を検討する。

### 5.2.1 メンテナンス作業数量の影響

軌道のメンテナンスにおいて、レール、マクラギ、道床の交換は、ある一定の交換基準に従って行われている。今後、技術的な進歩によるレール、マクラギ、バラストの長寿命化や交換基準の見直しなどから、年間交換数量や軌道保守作業量が削減される可能性がある。実際、レールに関しては、レール溶接部の疲労寿命延伸とレール表面から発生する傷（シェリング）の抑制のためのレール削正（レールの表面を研磨し、同時に形状を整える手法）が、2005年度から首都圏において実用化されており、レールの年間交換数量の削減が見込まれている<sup>8</sup>。

長寿命化や交換基準の見直しなどによって、レール、マクラギ、道床の年間交換数量やMTT・BR施工量が削減できた場合、軌道メンテナンス年間CO<sub>2</sub>排出量は何%削減できるか計算した。以下に各線区について各作業量とCO<sub>2</sub>排出割合の関係を示す。なお、各作業は互いに独立させ、ある作業量の変化が他の作業量に及ぼす変化は考慮していない。また、レールのリサイクル率は100%、リユース率は0%とした。

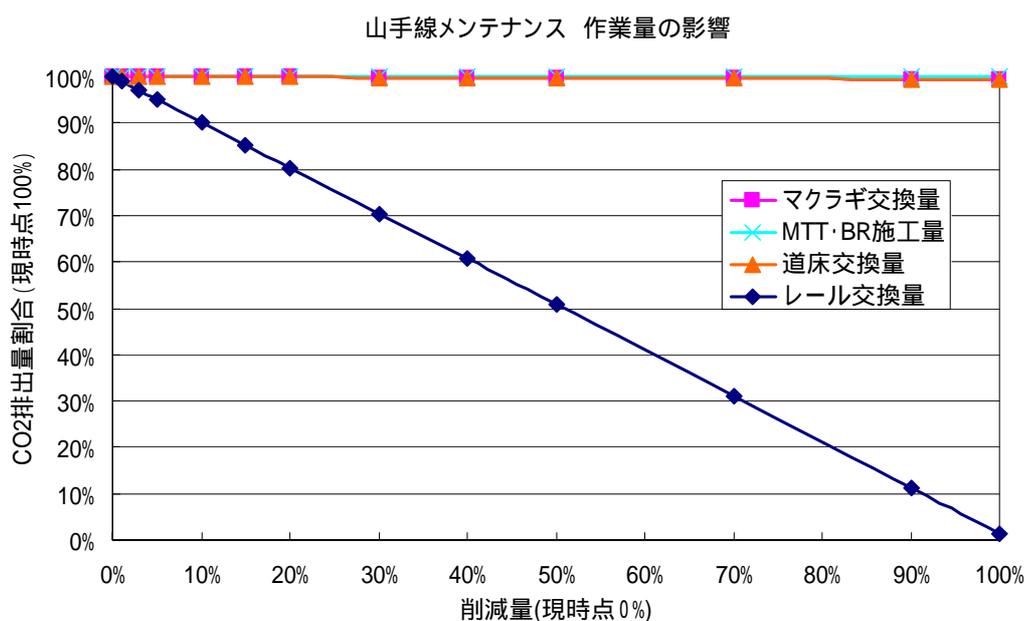


図 5.1 (1級) 山手線軌道メンテナンス作業量の影響

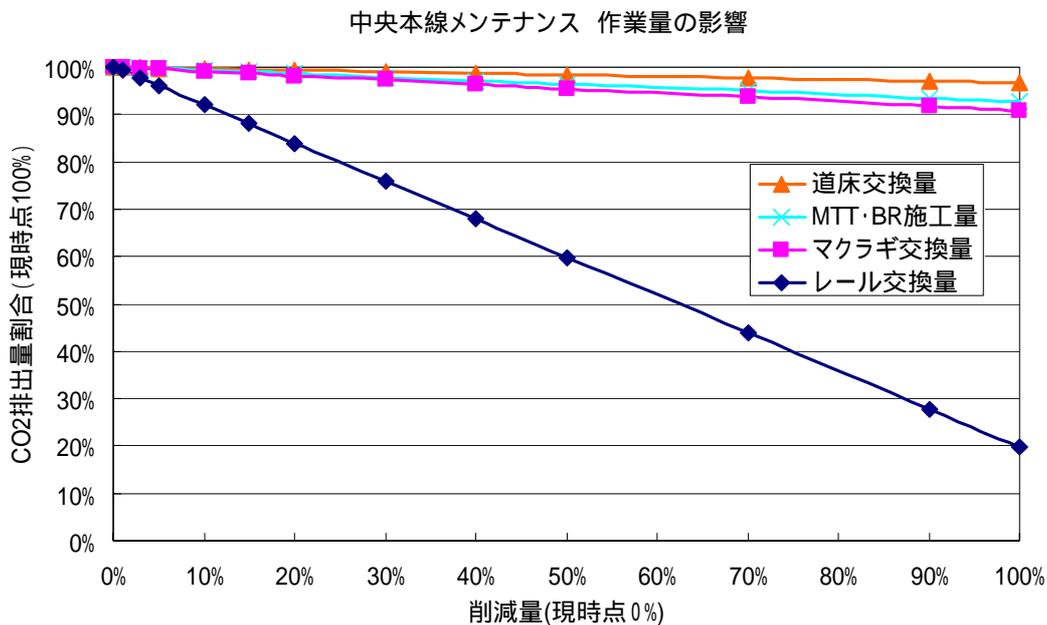


図 5.2 (1 級) 中央本線軌道メンテナンス作業量の影響

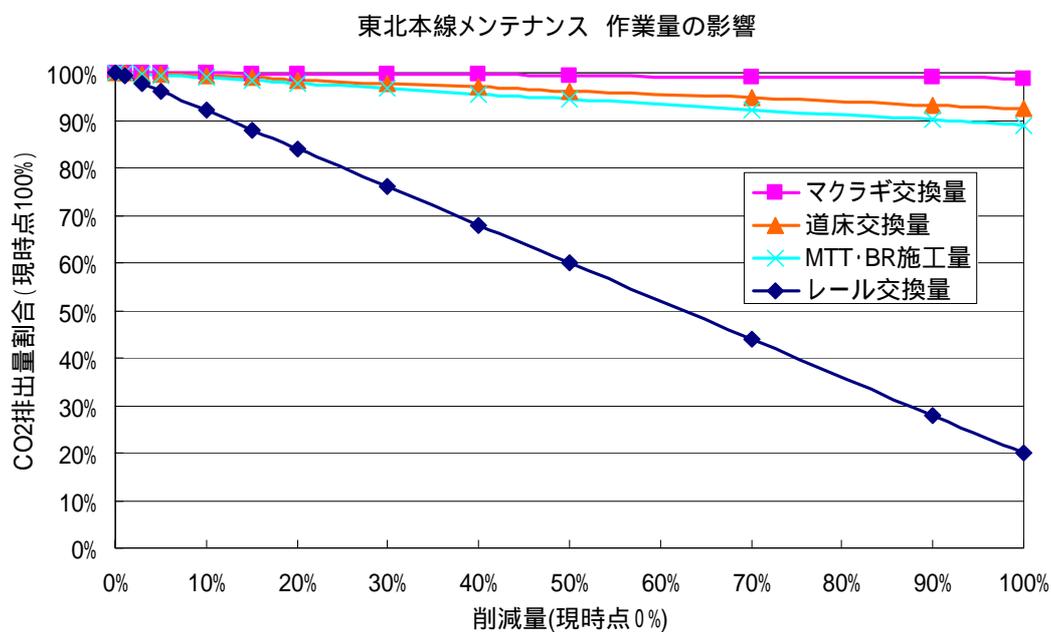


図 5.3 (2 級) 東北本線軌道メンテナンス作業量の影響

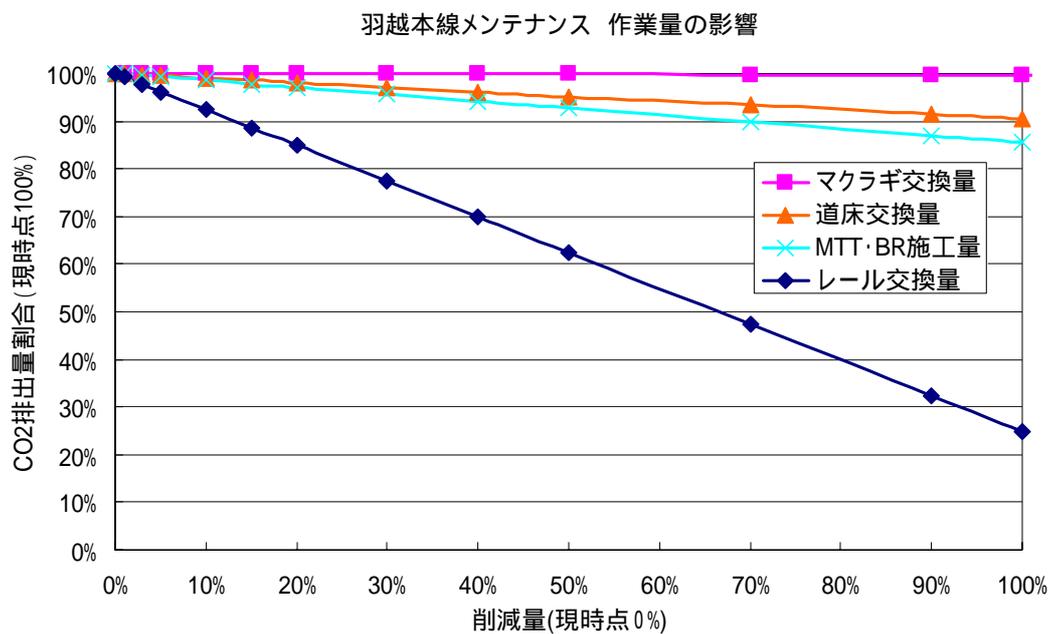


図 5.4 (3級) 羽越本線軌道メンテナンス作業量の影響

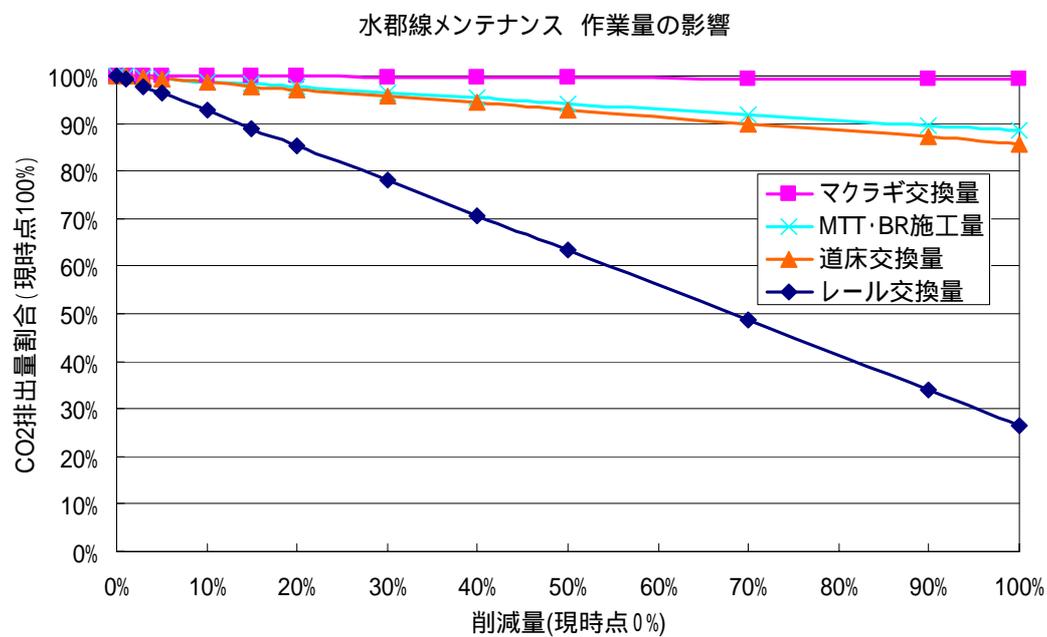


図 5.5 (4級) 水郡線軌道メンテナンス作業量の影響

## 考察

まず、どの線区においてもレール交換量削減のCO<sub>2</sub>削減効果が比較的大きいことが見て取れる。レール削正手法により、レールの長寿命化を達成することは極めて大きなCO<sub>2</sub>削減効果が期待できるといえるであろう。山手線に関しては、レール交換量削減率とCO<sub>2</sub>削減率がほぼ1：1の関係となっている。これは省力化軌道の効果によりレール交換以外のメンテナンス量が比較的少ないためであると考えられる。

年間排出量が比較的多い東北本線と少ない水郡線では、CO<sub>2</sub>削減率が同じ10%であっても、CO<sub>2</sub>削減量は前者が約150t、後者が約25tと大きな差がある。このように線区間をまたいで比較した場合には、年間CO<sub>2</sub>排出量が多い線区ほど作業量削減によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果は大きい。

メンテナンスの信頼性を損なうことになるため、単純に交換量を削減することは不可能であるが、今後の交換基準見直しや長寿命化によって、交換量削減が可能になった場合のCO<sub>2</sub>削減効果を予測するものとしてこの結果を位置づける。

### 5.2.2 軌道モーターカーの燃費向上

軌道モーターカー（MC）は、軽油を燃料とし、軌道上で物資を運搬するのに使われている。レールの運搬においては、レールを材料基地から交換現場まで運び、使用済レールを再び材料基地まで運搬するのに使われている。軌道モーターカーの燃費が25%減、50%減となった場合のCO<sub>2</sub>排出量削減効果を評価した。レールリサイクル率100%、リユース率0%とした。以下にその結果をまとめた。

表 5.1 軌道モーターカーの燃費向上

		メンテナンス総CO <sub>2</sub> 排出量(t/年)			c:削減量(a-b)(t/年)		削減割合(c/a*100)(%)	
		a:現状	b:25%減	b:50%減	25%減	50%減	25%減	50%減
1級線	山手線	207.41	205.77	204.13	1.64	3.29	0.79	1.59
	中央本線	459.42	456.45	453.48	2.97	5.95	0.65	1.29
2級線	東北本線	1435.97	1425.75	1415.53	10.22	20.45	0.71	1.42
3級線	羽越本線	692.05	687.11	682.18	4.93	9.87	0.71	1.43
4級線	水郡線	251.38	249.60	247.81	1.79	3.58	0.71	1.42

### 5.2.3 レール運搬の鉄道輸送への変更

レールメーカーからレールセンターへの輸送は、現在船舶によって実施している。これを鉄道輸送（貨物列車）に変更した場合のCO<sub>2</sub>排出量削減効果を検証する。鉄道に変更した場合の運搬距離については、船舶輸送の運搬距離と大差ないので、同じであると仮定した。レールのリサイクル率100%、リユース率0%とした。以下にその結果をまとめた。

表 5.2 レール運搬の鉄道輸送への変更

		メンテナンス総CO <sub>2</sub> 排出量(t/年)		c:削減量(a-b)(t/年)	削減割合(c/a*100)(%)
		a:船舶輸送	b:列車輸送		
1級線	山手線	207.41	197.71	9.70	4.68
	中央本線	459.42	441.97	17.46	3.80
2級線	東北本線	1435.97	1358.91	77.06	5.37
3級線	羽越本線	692.05	667.83	24.21	3.50
4級線	水郡線	251.38	242.75	8.64	3.44

### 5.2.4 木マクラギからPCマクラギへの変更

木マクラギをPCマクラギに変更することで、マクラギ交換周期の延伸と道床交換、MTT・BR施工量の削減が可能になると予測される。PCマクラギ化の推進によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果进行评估する。

現状でほぼPCマクラギ化済の1級線は対象外とし、2級～4級線を対象とする。

木マクラギの平均寿命は20年、PCマクラギは50年と一般的には言われているため、木マクラギをPCマクラギにした場合には、交換周期は約2.5倍になると仮定する。この場合、PCマクラギ化後の場合のマクラギ年間交換数量は、

$$PCマクラギ年間交換数量 + 木マクラギ年間交換数量 / 2.5$$

となる。

また、PCマクラギ化に伴う軌道保守作業（道床交換、MTT・BR施工量）は $(0.89/1.16)^{1.10} \cdot 0.75$ 倍<sup>9</sup>になると仮定する。

よって、PC化後の軌道保守作業の数量は、

$$\{PC敷設本数 / (PC敷設本数 + 木敷設本数) + 木敷設本数 / (PC敷設本数 + 木敷設本数) \times 0.75\} \times 軌道保守作業数量$$

となる。

以下に作業数量の変化をまとめたものを示す。

表 5.3 P C マクラギへの変更

線級		支社		単位	1級線		2級線	3級線	4級線
					東京	八王子	盛岡	新潟	水戸
線名コード		線名			475	261	461	611	487
					山手電車	中央本線	東北本線	羽越本線	水郡線
状況	まくらぎ	PC	本	56,932	98,900	684,112	370,032	3,996	
		木	本	172	344	7,568	5,148	184,783	
P C 化 前	まくらぎ交換	PC	本	70	2,216	861	106	0	
		木	本	65	728	1,458	769	6,764	
	道床	合計	交換	km	0.008	0.206	0.506	0.317	0.470
			補充	m3	103	869	8,040	4,829	1,982
			バラスト数量	m3	117	1,240	8,951	5,399	2,828
	軌道保守	合計	MTT	km	0.1	36.7	177.4	114.3	32.4
			総つき固め	km	0.3	7.4	16.9	9.3	3.0
	P C 化 後	初期まくらぎ交換	PC	本	172	344	7,568	5,148	184,783
まくらぎ交換 (メンテナンス)		PC	本	96	2,507	1,444	414	2,705	
		木	本						
道床		合計	交換	km	0.008	0.206	0.505	0.316	0.355
			補充	m3	103	868	8,018	4,812	1,497
			バラスト数量	m3	117	1,239	8,927	5,381	2,136
軌道保守		合計	MTT	km	0.1	36.7	176.9	113.9	24.4
			総つき固め	km	0.3	7.4	16.8	9.3	2.3

木 PCの初期交換については、必要なPCマクラギのうち 全て新品 50%は他の線区からのリユースで 50%は新品 全て他の線区からのリユース の3つの場合を考える。リユースマクラギは中央本線の省力化により発生したものと仮定し、東京からトラックで現場まで運搬する際に発生するCO<sub>2</sub>を加算した。

PC化後、メンテナンスにおけるマクラギ交換に必要なPCマクラギも同じく 全て新品 50%は他の線区からのリユースで 50%は新品 全て他の線区からのリユース の3つの場合を考える。リユースマクラギの発生場所も同様に中央本線とした。結果を以下にまとめる。

表 5.4 PC化初期交換CO<sub>2</sub>排出量

CO <sub>2</sub> 排出量(t)	2級線	3級線	4級線
	東北本線	羽越本線	水郡線
新品	144.8	97.2	3444.6
50%リユース	82.9	52.6	1798.0
100%リユース	21.1	8.0	151.4

表 5.5 PC化後メンテナンス年間CO<sub>2</sub>排出量

		2級線	3級線	4級線
		東北本線	羽越本線	水郡線
a: PC化前		1436.0	692.0	251.4
b: PC化後	新品	1445.8	697.0	284.4
	50%リユース	1434.0	693.5	260.2
	100%リユース	1422.2	689.9	236.1
c: 変化量: b-a	新品	9.9	5.0	33.0
	50%リユース	-1.9	1.4	8.9
	100%リユース	-13.8	-2.2	-15.2
変化割合: c/a*100(%)	新品	0.7	0.7	13.1
	50%リユース	-0.1	0.2	3.5
	100%リユース	-1.0	-0.3	-6.1

## 考察

表 5.4 と表 5.5 から考えると、初期マクラギ交換に新品の P C マクラギを使用した場合、初期交換時の C O 2 排出量を、P C マクラギ化後のメンテナンス削減量で取り返すのに長い時間がかかってしまうことが分かる。東北本線を例にとると、初期交換に新品の P C マクラギを使用した場合は 144.8 t の C O 2 が発生する。この初期環境負荷を取り返すには、マクラギ交換メンテナンスのリユースマクラギ使用率を 100%にしても  $144.8 \div 13.8 = 10.5$  年かかってしまう。それに対して、初期交換に 100%リユースマクラギを使用したとすると、 $21.1 \div 13.8 = 1.5$  年で元を取ることができる。同様に羽越本線では  $8.0 \div 2.2 = 3.6$  年、水郡線では  $151.4 \div 15.2 = 10$  年で元を取ることが出来る。

P C マクラギ化を推進するにあたっては、リユースマクラギを使うことにより C O 2 削減が期待できることが示された。従って、中央線を省力化軌道に変更する場合に発生した使用済 P C マクラギを、他の線区に運んでリユースすることは C O 2 削減に効果的であるともいえる。

### 5.2.5 レール削正手法の導入

レール削正を実施する場合には、レール削正車による軽油使用が増加することになる。レール削正は通トン 5000 万トンごとに実施することとし、軽油使用量については M T T 単独使用の燃費と同様と仮定する。レール削正車による軽油使用量は、

$$\text{平均通トン(万トン)} / 5000(\text{万トン}) \times \text{本線軌道延長(km)} \times 216.7(\text{l/km})$$

により算出した。

レール交換数量の削減予想値については次のように算出した。

- ・ レール削正により、シェリングが原因による交換数量は 1/2 になると仮定
- ・ 通トン交換に関しては、以下の交換基準延伸に伴う比率によって削減量を算出

表 5.6 交換基準延伸

(億トン)		定尺		ロング	
		1-x		x	
50N	1-y	4	6	6	8
60K	y	6	8	8	10

x : ロング化率 (対軌道)

y : 60K 敷設割合

通トン交換に関するレール交換削減予想値

$$\begin{aligned} & (1-x)(1-y) \times (1-4/6) + \{(1-y)x + y(1-x)\} \times (1-6/8) + (1-8/10)xy \\ & = 1/3 - 1/12(x+y) + 1/30xy \end{aligned}$$

以上からレール交換削減予想値と、削正車の軽油使用量をまとめた表を以下に示す。

表 5.7 レール削正手法の検討

線級		単位	1級線		2級線	3級線	4級線	
			東京	八王子	盛岡	新潟	水戸	
支社			475	261	461	611	487	
線名			山手電車	中央本線	東北本線	羽越本線	水郡線	
感 度 分 析	レール削正 手法の検討	シエリング削減予想	%	8.4%	5.9%	5.8%	4.8%	2.8%
		通し削減予想	%	8.7%	9.7%	19.3%	4.9%	3.0%
		合計	%	17.1%	15.6%	25.2%	9.7%	5.8%
		削正必要延長	Km	36.2	56.1	103.0	42.1	2.4
		削正車必要燃料	リットル	7,834.6	12,154.3	22,311.6	9,127.0	530.8

### 計算結果

表に示されたレール交換削減予想合計値と削正車の軽油消費を考慮し、CO<sub>2</sub>排出量削減予想値を求めた。結果を以下に示す。

表 5.8 レール削正手法CO<sub>2</sub>削減予想値

	1級線		2級線	3級線	4級線
	山手線	中央本線	東北本線	羽越本線	水郡線
a: 現状CO <sub>2</sub> 排出量(t/年)	207.4	459.4	1436.0	692.0	251.4
b: レール削正後CO <sub>2</sub> 排出量(t/年)	193.1	433.9	1205.1	665.5	242.1
c: CO <sub>2</sub> 削減量 a-b(t/年)	14.3	25.5	230.9	26.5	9.3
CO <sub>2</sub> 削減割合 c/a*100(%)	6.9	5.6	16.1	3.8	3.7

### 考察

図 5.8 から、レールの削正手法導入によって、東北本線において年間 230 t もの CO<sub>2</sub> 排出量の削減が見込まれる。この削減量は山手線のメンテナンス年間 CO<sub>2</sub> 排出量 207 t を上回る量であることから、レール削正手法の導入は極めて効果的であるといえるであろう。他の線区に関しても、CO<sub>2</sub> 削減割合としては 4~7% 程度であるが、レール削正による CO<sub>2</sub> 削減効果が期待できる。特に山手線には既にレール削正が導入されていることから、6.9% の CO<sub>2</sub> 削減効果が現実のものとなることが期待できる。

#### 5.2.6 レールのリサイクル

レールは良質な鉄であるため、売却された廃棄レールはその後リサイクルされていると思われる。よって、本研究では基本的にレールのリサイクル率を 100% と設定し解析を行ってきた。(リサイクル率の定義は 3.3.1 レール交換を参照されたい)しかし、レールのリサイクル率が 100% であることを実証するデータはなく、実際のところはリサイクルされずに、鉄骨としてのリユースなど他の方法で使用されていることも考えられる。ここでは、リサイクル率が最終的な CO<sub>2</sub> 排出量に与える影響を検証する。

代表例として 1 級中央本線に関してのレールのリサイクル率と軌道メンテナンス年間 CO<sub>2</sub> 排出割合の関係を示したグラフを以下に掲載する。レールのリユース率は 0% とした。

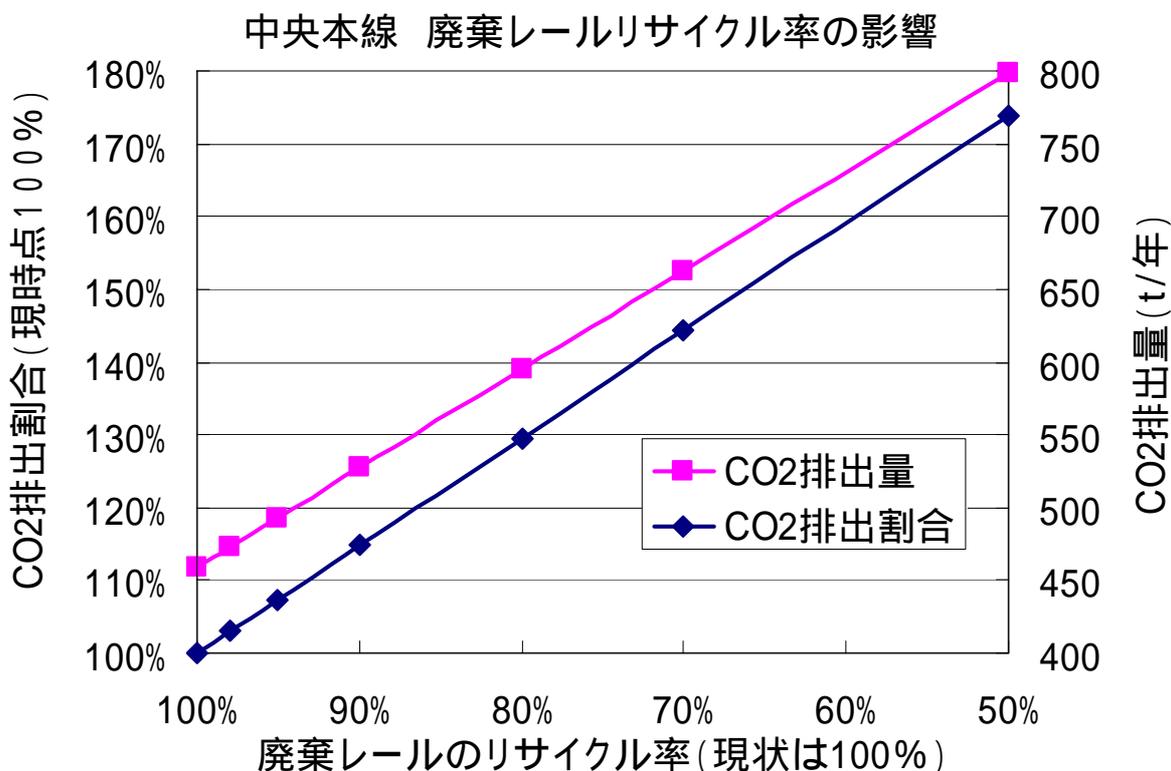


図 5.6 (1級) 中央本線 レールのリサイクル率の影響

このグラフから、レールのリサイクル率によって最終的なCO<sub>2</sub>排出量は大幅に変化することが見て取れる。リサイクル率が50%であるとした場合、CO<sub>2</sub>排出量は現状の解析値より約75%増加する。レールのリサイクルの現状についてはデータがなく定かではないが、レールのリサイクルを行うことはCO<sub>2</sub>削減に大きな効果があるといえる。

#### 5.2.7 レールのリユース

本研究では最終的な軌道メンテナンスCO<sub>2</sub>排出量を評価する際に、レールのリサイクル率と同様に、レールのリユース率をパラメータとして評価している。(レールのリユース率に関しては、3.3.1 レール交換を参照されたい)

今回、レールのリユース率に関しての明確なデータは収集できなかったため、リユース率は基本的に0%として評価しているが、今後、環境負荷低減に向けてレールのリユースを検討する場合に備えて、レールのリユース率が最終的なCO<sub>2</sub>排出量に及ぼす影響を明らかにする。

代表例として1級中央本線に関してのレールのリユース率と軌道メンテナンスCO<sub>2</sub>排出割合の関係を示したグラフを以下に掲載する。レールのリサイクル率は100%とした。

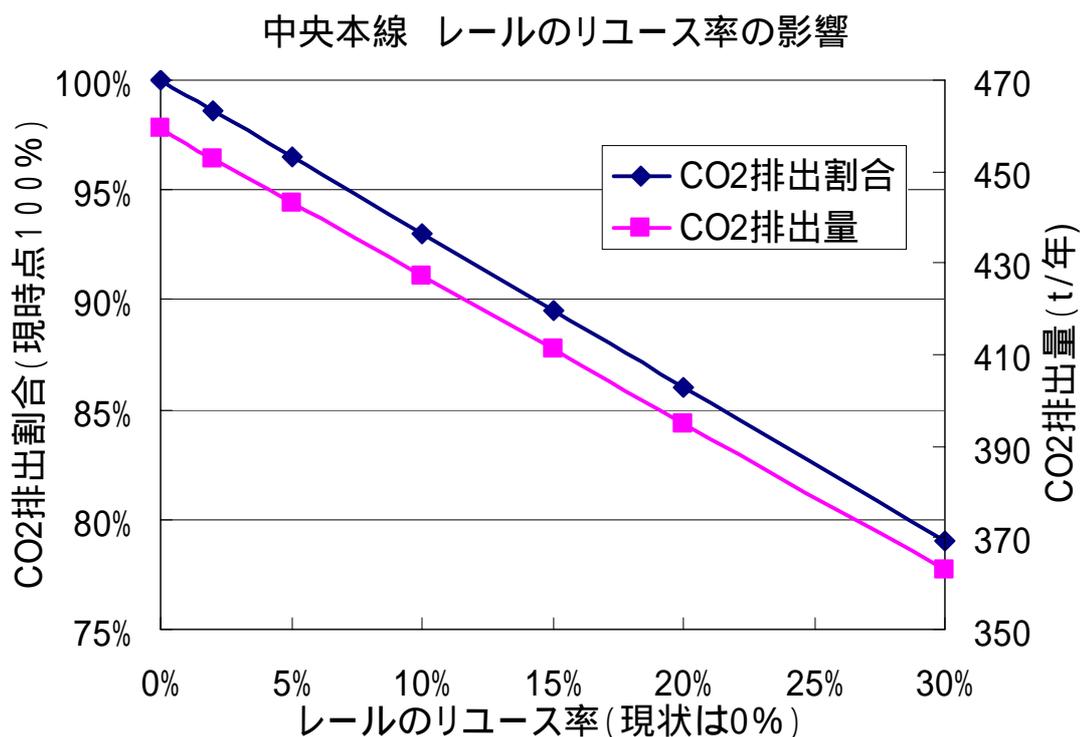


図 5.7 (1級) 中央本線 レールのリユース率の影響

このグラフからレールのリユースを行うことで、CO<sub>2</sub>削減に効果があることが見て取れる。具体的にはレールを30%リユースすることでCO<sub>2</sub>排出量は22%程度削減できる。しかし、レールのリユースを行う上では、レールの損傷具合を十分にチェックし、既に寿命の尽きたレールはリユースしないようにすることが、安全な列車走行のために必要である。

## 5.2.8 感度分析

EMLCAの機能として感度分析がある。感度分析によってシステム全体のうち、最終環境負荷に最も大きな影響を及ぼす項目を特定することができる。代表例として、中央本線の軌道メンテナンスシステムにCO<sub>2</sub>感度分析を施した結果を示す。

表 5.9 (1級)中央本線 感度分析結果

Process	Material	Sensitivity			
1 型鋼の製造	型鋼	-2.17584	75 中央本線レール運搬	解運搬	0.001384
2 レール(60K)製造	型鋼	2.147129	76 解運搬	解運搬	-0.00138
3 レール(60K)製造	レール(60K)	-2.14713	77 解運搬	CO2	0.001384
4 中央本線軌道レール交換	レール(60K)	2.147129	78 ボルトランドセメント製造	電力	0.001278
5 廃棄レールリサイクル	鉄屑	-1.47504	79 碎石の採取	CO2	0.001242
6 廃棄レールリサイクル	廃棄レール	1.475043	80 砂の採取	CO2	0.000994
7 レール(60K)リユース	使用済レール(60K)	1.455581	81 一般炭の採掘(平均)	石炭	-0.0009
8 中央本線軌道レール交換	使用済レール(60K)	-1.45558	82 ボルトランドセメント製造	石炭	0.000865
9 レール(60K)リユース	廃棄レール	-1.45558	83 一般炭の採掘(平均)	CO2	0.000805
10 型鋼の製造	CO2	1.110855	84 碎石の採取	電力	0.000417
11 型鋼の製造	鉄屑	1.064981	85 石灰石採掘	石灰石	-0.00039
12 中央本線軌道メンテナンス	中央本線軌道メンテナンス	-1	86 ボルトランドセメント製造	石灰石	0.000389
13 中央本線軌道メンテナンス	中央本線軌道レール交換	0.802918	87 砂の採取	電力	0.000334
14 中央本線軌道レール交換	中央本線軌道レール交換	-0.80292	88 A重油生産	A重油	-0.00032
15 鋳鉄代替	鉄屑	0.407949	89 原油生産	A重油	0.000299
16 鋳鉄代替	鋳鉄	-0.40795	90 石灰石採掘	CO2	0.000256
17 鋳鉄の製造	鋳鉄	0.407949	91 A重油生産	CO2	0.000198
18 鋳鉄の製造	CO2	-0.40795	92 生コンクリート製造	電力	0.000183
19 中央本線軌道マクラギ交換	中央本線軌道マクラギ交換	-0.09116	93 電力生産	LNG	0.000173
20 中央本線軌道メンテナンス	中央本線軌道マクラギ交換	0.091161	94 LNG(都市ガス13A用)	LNG	-0.00017
21 マクラギ(PC)製造	マクラギ(PC)	-0.08715	95 LNG(都市ガス13A用)	CO2	0.000172
22 中央本線軌道マクラギ交換	マクラギ(PC)	0.087148	96 石灰石採掘	電力	0.000122
23 マクラギ(PC)製造	コンクリート	0.087138	97 A重油生産	原油	0.00012
24 生コンクリート製造	コンクリート	-0.08714	98 軽油生産	電力	0.000103
25 中央本線軌道レール交換	中央本線レール運搬	0.086701	99 低硫黄C重油の生産	C重油	-0.0001
26 中央本線レール運搬	中央本線レール運搬	-0.0867	100 碎石の採取	軽油	7.32E-05
27 生コンクリート製造	ボルトランドセメント	0.083813	101 マクラギ(木)製造	マクラギ(木)	-6.6E-05
28 ボルトランドセメント製造	ボルトランドセメント	-0.08381	102 マクラギ(木)製造	木材	6.62E-05
29 ボルトランドセメント製造	CO2	0.079121	103 木材採取原単位	木材	-6.6E-05
30 中央本線軌道メンテナンス	MTT・BR	0.071707	104 木材採取原単位	CO2	6.62E-05
31 MTT・BR施工	MTT・BR	-0.07171	105 中央本線軌道マクラギ交	マクラギ(木)	6.62E-05
32 中央本線レール運搬	鉄鋼運搬船運搬	0.069179	106 低硫黄C重油の生産	CO2	6.28E-05
33 鉄鋼運搬船運搬	鉄鋼運搬船運搬	-0.06918	107 一般炭の採掘(平均)	電力	6.18E-05
34 鉄鋼運搬船運搬	CO2	0.069179	108 砂の採取	軽油	5.86E-05
35 MTT・BR施工	CO2	0.067084	109 ボルトランドセメント製造	C重油	5.33E-05
36 中央本線軌道道床交換補充	中央本線軌道道床交換補充	-0.03421	110 低硫黄C重油の生産	原油	3.74E-05
37 中央本線軌道メンテナンス	中央本線軌道道床交換補充	0.034214	111 電力生産	石炭	3.23E-05
38 中央本線軌道レール交換	レール(50N)	0.028707	112 一般炭の採掘(平均)	C重油	2.92E-05
39 レール(50N)製造	レール(50N)	-0.02871	113 電力生産	A重油	2.12E-05
40 レール(50N)製造	型鋼	0.028707	114 石灰石採掘	軽油	1.07E-05
41 中央本線MC運搬	中央本線MC運搬	-0.02589	115 鉄筋の製造	鉄筋	-1E-05
42 中央本線MC運搬	CO2	0.024222	116 マクラギ(PC)製造	鉄筋	1.02E-05
43 中央本線軌道道床交換補充	バラスト	0.020347	117 碎石の採取	C重油	1.01E-05
44 バラストの採取	バラスト	-0.02035	118 砂の採取	C重油	8.07E-06
45 バラストの採取	CO2	0.020347	119 電力生産	原油	7E-06
46 トラック運搬	トラック運搬	-0.02029	120 鉄筋の製造	鉄屑	6.73E-06
47 トラック運搬	CO2	0.020291	121 灯油生産	灯油	-6E-06
48 レール(50N)リユース	使用済レール(50N)	0.019461	122 A重油生産	電力	3.97E-06
49 中央本線軌道レール交換	使用済レール(50N)	-0.01946	123 鉄筋の製造	CO2	3.43E-06
50 レール(50N)リユース	廃棄レール	-0.01946	124 灯油生産	原油	3.42E-06
51 中央本線使用済レール運搬	中央本線使用済レール運搬	-0.01542	125 電力生産	LPG	3.4E-06
52 中央本線軌道レール交換	中央本線使用済レール運搬	0.015423	126 LPGの採掘(平均)	LPG	-3.4E-06
53 中央本線軌道道床交換補充	トラック運搬	0.013867	127 LPGの採掘(平均)	CO2	3.28E-06
54 中央本線使用済レール運搬	中央本線MC運搬	0.012946	128 碎石の採取	灯油	3.27E-06
55 中央本線レール運搬	中央本線MC運搬	0.012946	129 砂の採取	灯油	2.61E-06
56 軽油生産	軽油	-0.00644	130 灯油生産	CO2	2.45E-06
57 MTT・BR施工	軽油	0.004623	131 低硫黄C重油の生産	電力	1.24E-06
58 中央本線軌道マクラギ交換	トラック運搬	0.003946	132 LNG(都市ガス13A用)	C重油	7E-07
59 原油生産	原油	-0.00328	133 一般炭の採掘(平均)	A重油	5.89E-07
60 軽油生産	CO2	0.003221	134 電力生産	軽油	2.86E-07
61 機関車運搬	機関車運搬	-0.00319	135 ガソリン生産	ガソリン	-1.9E-07
62 機関車運搬	CO2	0.003193	136 一般炭の採掘(平均)	ガソリン	1.94E-07
63 中央本線レール運搬	機関車運搬	0.003193	137 ガソリン生産	CO2	1.46E-07
64 軽油生産	原油	0.003111	138 灯油生産	電力	1.14E-07
65 原油生産	CO2	0.002979	139 一般炭の採掘(平均)	灯油	1.07E-07
66 電力生産	電力	-0.00251	140 LPGの採掘(平均)	C重油	9.75E-08
67 中央本線使用済レール運搬	トラック運搬	0.002478	141 鉄筋の製造	石炭	4.71E-08
68 電力生産	CO2	0.002268	142 ガソリン生産	原油	4.63E-08
69 ボルトランドセメント製造	鉄屑	0.002107	143 鉄筋の製造	原油	2.81E-08
70 碎石の採取	碎石	-0.00175	144 LPGの採掘(平均)	軽油	1.62E-08
71 生コンクリート製造	碎石	0.001746	145 鉄筋の製造	石灰石	1.89E-09
72 中央本線MC運搬	軽油	0.001669	146 ガソリン生産	電力	1.54E-09
73 生コンクリート製造	砂	0.001397	147 LPGの採掘(平均)	A重油	1.54E-09
74 砂の採取	砂	-0.0014	148 LPGの採掘(平均)	電力	5.82E-11

感度分析の結果は感度が高い、つまり最終的なCO<sub>2</sub>排出量への影響が高い順に並べられている。最も感度の絶対値が大きい材料はレールの製造プロセスとして代替した型鋼の製造プロセスの型鋼であり、その感度値は約 - 2.17 である。これの意味するところは、他の条件が一定の場合に、型鋼の製造プロセスにおいて製造される型鋼の質量を、現状から 1% 増加できたときに最終CO<sub>2</sub>排出量は約 2.17% 減少するということである。このように型鋼の生産効率を上昇させることは、CO<sub>2</sub>削減に大きな効果があるということがいえる。

感度の絶対値が 4 番目に大きい材料は中央本線軌道レール交換のレール (60K) であり、感度値は約 2.14 である。これは 60K レールのレール交換量を現状から 1% 削減した場合に、最終CO<sub>2</sub>排出量は約 2.14% 減少するということである。5.2.1 メンテナンス作業量の影響でも示されたが、レール交換量削減はCO<sub>2</sub>排出量削減に効果があることを、この感度分析によっても確認できる。

2 番目と 3 番目の材料についての感度値にはあまり意味があるとはいえない。なぜなら、レール (60K) 製造のプロセスは、レール (60K) を型鋼で代替するだけの仮想的なプロセスであるからである。このように、感度値にはプロセスの構成によっては無意味な値も含まれてしまうことに注意する必要がある。

### 5.3 TC型省力化軌道への変更

既に省力化軌道への移行が終了している山手線以外の線区に関して、現状の軌道をTC型省力化軌道に変更した場合のCO<sub>2</sub>削減効果を評価する。

#### 5.3.1 設定条件

省力化軌道敷設時のレール交換に関する場合分け

省力化軌道敷設時にはレールの交換が必要である。省力化軌道敷設の際に用いるレールの種類、また、リユースレールを用いるか、あるいは新品のレールを用いるかに関して場合分けを行った。省力化軌道敷設時のレールの交換に関して、以下の3つの場合を考える。また、それぞれについてレール交換のプロセスフローを示した。

#### 場合

省力化軌道のレールは全て60Kレールを用いるとする。省力化を行う線区で、今現在使われている60Kレールはそのまま省力化軌道にリユースし、60Kレールの不足分(現状軌道の50Nレール区間の分)は、新品の60Kレールを用いるとした場合。レール交換により発生した使用済50Nレールは、鉄屑としてリサイクルされるとする。

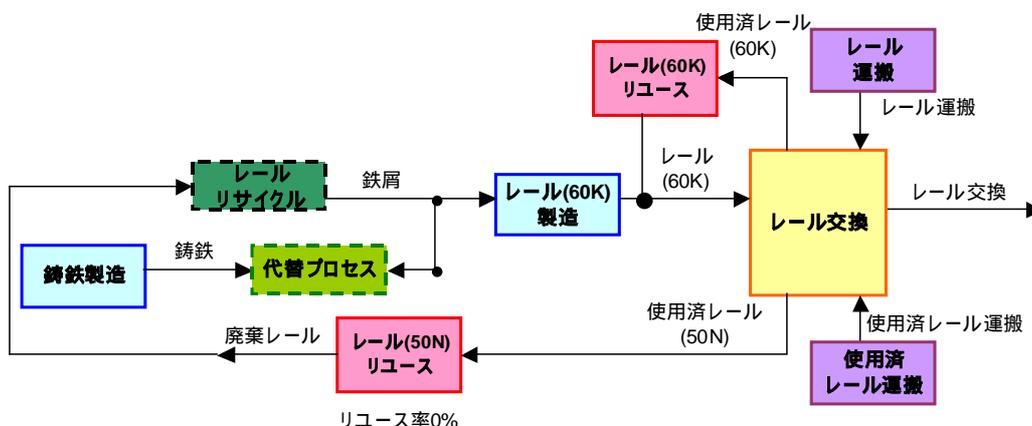


図 5.8 レール交換プロセスフロー 省力化敷設場合

### 場合

省力化軌道のレールは全て60Kレールを用いるとする。省力化を行う線区で、今現在使われている60Kレールはそのまま省力化軌道にリユースし、60Kレールの不足分（現状軌道の50Nレール区間の分）は、他の線区からリユースされた60Kレールを用いるとした場合。レール交換により発生した使用済50Nレールは、鉄屑としてリサイクルされるとする。なお、他の線区で発生したリユース60Kレールを省力化する線区のレールセンターまで運搬するまでの環境負荷は加算しない（システム外）とした。レールセンターから交換現場までの運搬の環境負荷はシステム内として加算した。

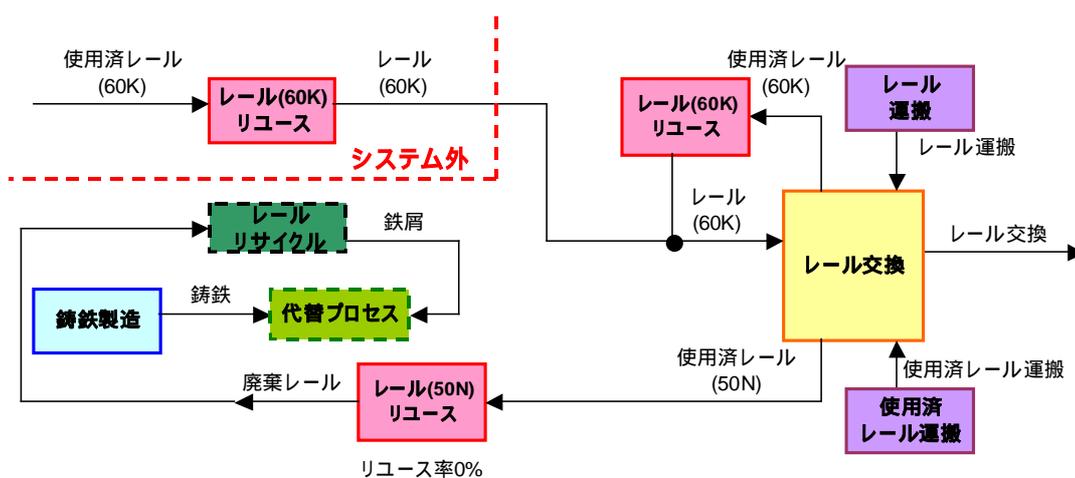


図 5.9 レール交換プロセスフロー 省力化軌道敷設場合

## 場合

省力化軌道においても50Nレールの使用が可能であると仮定し、省力化を行う線区で、今現在使われている60K、50Nレールをその場で省力化軌道にリユースとした場合。

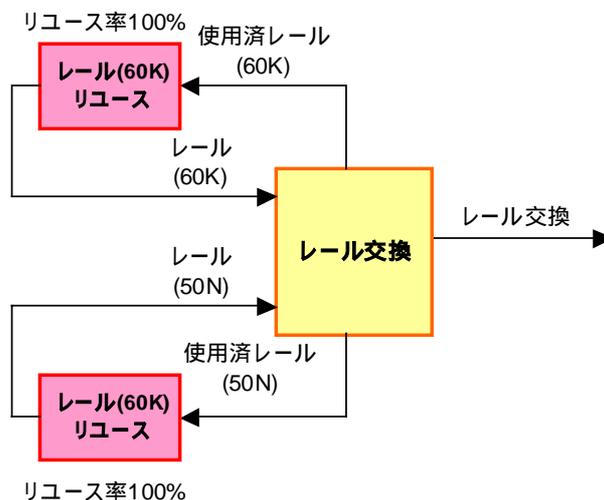


図 5.10 レール交換プロセスフロー 省力化軌道敷設場合

## 省力化軌道のメンテナンスについて

本LCA評価において、従来の軌道におけるメンテナンスはレール交換、マクラギ交換、道床交換補充、MTT・BR施工の4つを定義してきた。省力化軌道は基本的にメンテナンスフリーであるが、レールに関しては省力化軌道の場合でも定期的な交換が必要である。よって、省力化軌道のメンテナンスはレール交換のみとし、他はメンテナンスフリーとして評価することにした。

### 5.3.2 計算方法

省力化軌道敷設時のCO<sub>2</sub>排出、省力化軌道のレール交換に伴うCO<sub>2</sub>排出を含めてトータルで考慮したとき、省力化軌道のCO<sub>2</sub>削減効果が現れるのは何年後からか、言い換えれば、元が取れるのは何年後かを試算する。図5.6にあるように省力化軌道は敷設時に大量のCO<sub>2</sub>を排出する。しかし、メンテナンスがレール交換のみであるため、直線の傾きは現状軌道に比べて小さい。従って、省力化軌道と現状軌道のCO<sub>2</sub>排出量の直線には交点が存在し、その交点の年数を元が取れるまでの年数と定義する。

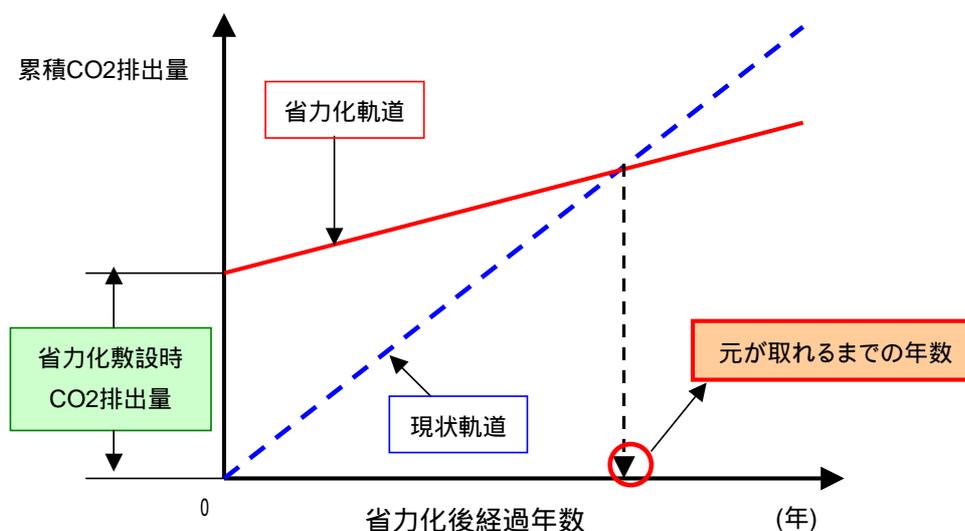


図 5.11 省力化軌道と現状軌道の CO<sub>2</sub> 排出量

また、省力化軌道の年間レール交換量については、50Nレールから60Kレールに交換したことや、レール削正手法によるレール延命効果により、現状軌道の年間レール交換量に比べて少なくなることが期待できる。よって、省力化軌道の年間レール交換量が、現状軌道の年間レール交換量に対して、0%、10%、20%...と削減できたとき、(上の図では省力化軌道の直線の傾きが小さくなることに対応する)元が取れるまでの年数はどう変化するかについても同時に計算した。

### 5.3.3 計算結果

すでに省力化が済んでいる山手線を除いた各線区に関して、省力化敷設時の各場合～について省力化軌道に変更した場合、何年で元が取れるかについて計算した結果をグラフに示す。なお、廃棄レールのリサイクル率は100%、レール交換のリユース率は0%とした。また発生した使用済マクラギはリユースされず処分するとした。

中央本線省力化 レール交換削減の効果

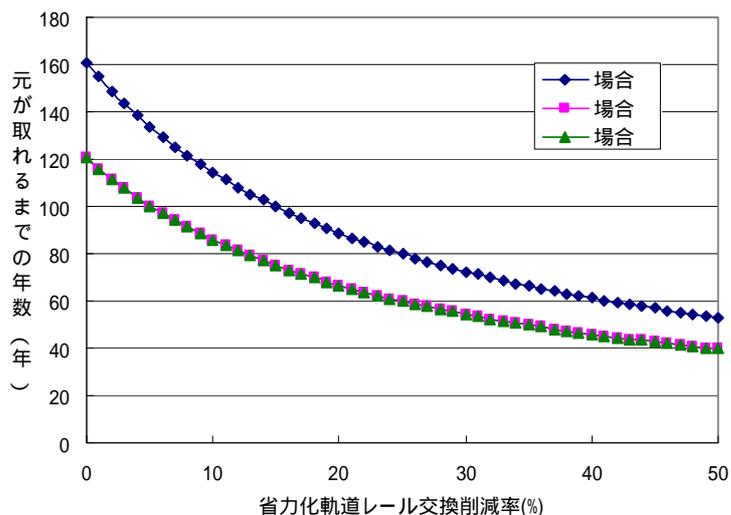


図 5.12 (1 級) 中央本線軌道省力化

東北本線省力化 レール交換削減の効果

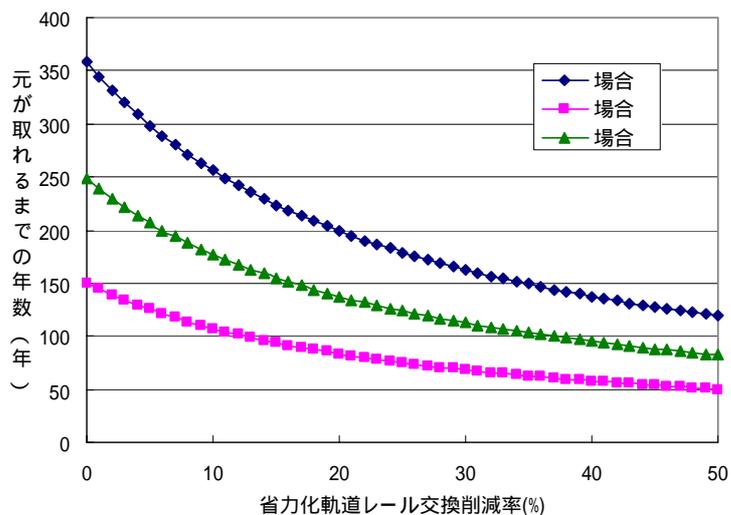


図 5.13 (2 級) 東北本線軌道省力化

羽越本線省力化 レール交換削減の効果

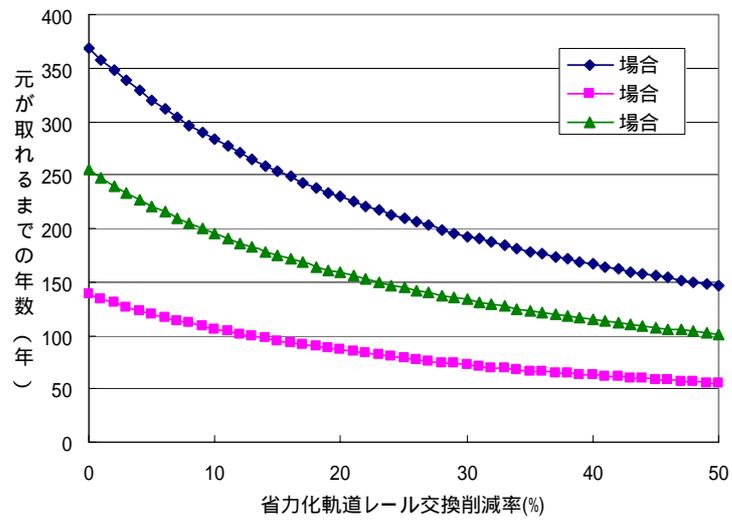


図 5.14 (3級) 羽越本線軌道省力化

水郡線省力化 レール交換削減の効果

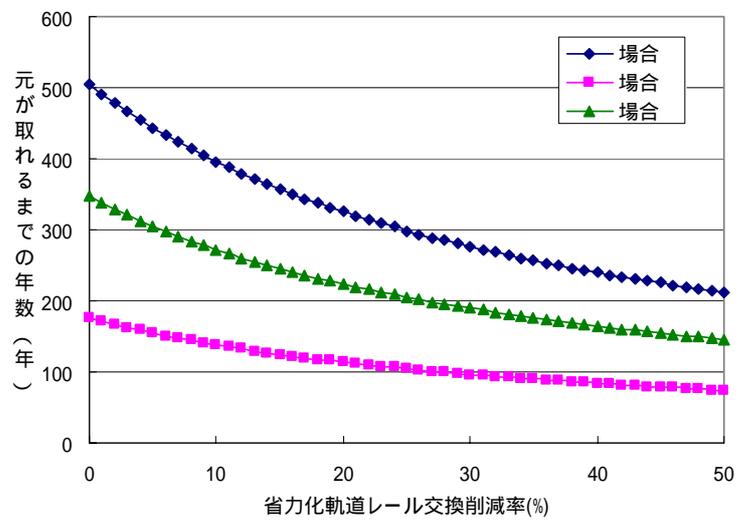


図 5.15 (4級) 水郡線軌道省力化

#### 5.3.4 考察

図5.12をみると、中央本線については、場合 と の結果が等しい。これは、中央本線については、60Kレールの現状敷設量が省力化に必要な60Kレールの量を上回るため、他の線区からリユース60Kレールを持ってくる必要がないからである。元を取るまでの年数はレール交換削減量によって、最長で160年、最短で40年と条件によって大きく異なる。

全線区を通してみると、省力化軌道敷設の各場合によって元が取れるまでの年数が大きく異なっている。新品のレールを用いる場合 では、元をとるのに中央本線では55年から160年かかってしまう。レールを他の線区からリユースする場合 とレールをその場でリユースする場合 とでは、場合 の方が元が取れるまでの年数が短い。これは、場合 では省力化で発生した50Nレールがリサイクルに回されるように設定したため、初期環境負荷が場合 より小さくなるからである。

場合 のように他の線区で発生した60Kレールをリユースするということは、その線区において60Kレールはリサイクルに回されないということになるため、60Kレールが発生した線区においてはCO<sub>2</sub>排出量が増加するということになる。場合 ではそのCO<sub>2</sub>増加分を初期環境負荷に含めていないことも、場合 より元が取れるまでの年数が小さくなった理由の一つである。

省力化軌道敷設後、メンテナンスのレール交換量削減により元が取れるまでの年数が大きく変化している。その変化量は、等級が上がるにつれ顕著であり、中央本線ではレール交換削減率が0%と50%の場合では、元が取れるまでの年数に120-40=80年(場合 )の差がある。よって省力化軌道敷設後のメンテナンスにおけるレール交換量を、レール削正手法などによって削減することがCO<sub>2</sub>削減に効果的であるといえる。

#### PCマクラギをリユースした場合

省力化軌道を敷設する際にはPCマクラギを幅広マクラギに交換するため、大量のPCマクラギが発生する。このPCマクラギは劣化や損傷などによる交換で発生したマクラギではなく、リユースすることが可能である。省力化軌道で発生したPCマクラギを他の線区にリユースした場合についての試算を行った。

例として、今後最も省力化が推進される可能性がある1級中央本線について評価する。中央本線については、60Kレールの敷設量が省力化に必要な60Kレールの量を上回るため、線区内で60Kレールをリユースするとした。

省力化後のレール交換については、レール削正を行うと仮定し、レール交換量の削減率は表5.7から15.6%とする。レール削正による軽油消費も考慮する。

省力化で発生したPCマクラギのリユースについては、同じ本数の新品のPCマクラギを製造する際のCO<sub>2</sub>排出量を、省力化敷設時のCO<sub>2</sub>排出量から減算することで対応する。また、発生したPCマクラギのリユース率を設定した。結果を以下に示す。

中央本線省力化 P Cマクラギリユース率の影響

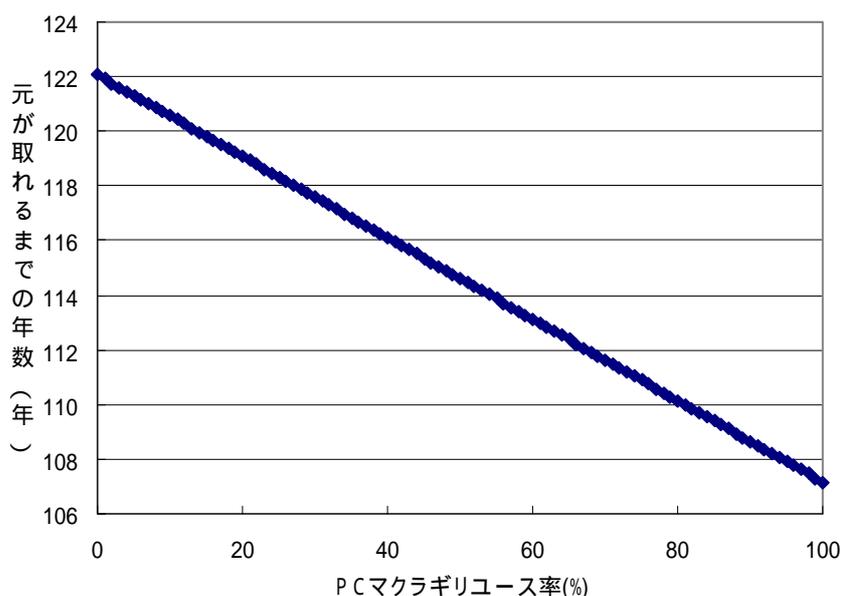


図 5.16 (1級)中央本線省力化 P Cマクラギリユース率の影響

#### 5.4 結言

ここでは、CO<sub>2</sub>削減に向けた施策の効果を検証した。山手線に関して言えば、レール削正手法によりレールの年間交換量が10%削減できた場合、軌道メンテナンスから発生する年間CO<sub>2</sub>排出量が10%削減できることが示された。

また、レールのリサイクルが50%であるとした場合、中央本線の軌道メンテナンスから発生するCO<sub>2</sub>排出量は75%増加することが分かった。

レールのリユースによるCO<sub>2</sub>削減効果は、リユース率が30%である場合、中央本線において軌道メンテナンス年間CO<sub>2</sub>排出量を22%削減できることが示された。

各プロセスの感度分析を行い、最もCO<sub>2</sub>排出感度値が高いのは型鋼(レール)のプロセスであることが分かった。

現状軌道を省力化軌道に変更した場合、省力化軌道敷設時の環境負荷を考慮してトータルで見たときCO<sub>2</sub>削減効果が現れるのは何年後か評価した。その結果、省力化敷設時に必要なレールを新品にするかリユースにするかによって結果が大きく異なってくるが、中央本線ではCO<sub>2</sub>削減効果は少なく見積もっても40年はかかることが分かった。

中央本線の省力化により発生したPCマクラギを他の線区にリユースする場合についての結果を示した。この場合は、省力化敷設時に発生したCO<sub>2</sub>排出の分を、その後の省力化軌道のメンテナンスにおけるCO<sub>2</sub>削減によって取り戻すには、少なくとも100年以上はかかってしまうことが見込まれる。

## 第6章

### 結論

## 6.1 本論文の結論

- ・ 2章ではLCA解析の手法について記述した。
- ・ 3章では、軌道メンテナンスに伴うCO<sub>2</sub>排出量を評価する前段階として、軌道メンテナンス及び省力化軌道敷設のシステムフローを構築した。このシステムフローに従って、インベントリデータを収集した。
- ・ 4章では、鉄道軌道メンテナンスに伴う年間CO<sub>2</sub>排出量を求めた。その結果、東北本線が最大で年間約1400tのCO<sub>2</sub>排出があることが明らかになった。また、単位軌道延長あたりのCO<sub>2</sub>排出量を比較すると、1級中央本線は年間約7t/kmで、4級水郡線の約3.5倍のCO<sub>2</sub>排出があるということが明らかになった。

また、軌道メンテナンスの総CO<sub>2</sub>排出量をプロセスごとCO<sub>2</sub>排出量に分けて分析した。その結果、レールの製造時に発生するCO<sub>2</sub>排出量が全体の大半を占めることを明らかにした。最も多い1級山手線では全体の90%をレールの製造プロセスが占める。よって、レール削正手法などによってレール交換量を削減することはCO<sub>2</sub>削減効果が高いといえる。

- ・ 5章では、CO<sub>2</sub>排出量削減に向けて、いくつかのCO<sub>2</sub>削減策を考案し、その効果の評価をした。その結果、レール削正手法によってレールの交換量を削減することにより、2級東北本線では、山手線軌道メンテナンスの年間CO<sub>2</sub>排出量に相当する年間約230tのCO<sub>2</sub>排出を削減できることを示した。

また、レールのリサイクル率が総CO<sub>2</sub>排出量に及ぼす影響を評価した。その結果、1級中央本線軌道メンテナンスでは、レールのリサイクル率が100%から50%に減少すると、年間CO<sub>2</sub>排出量は75%増加することが示された。レールのリサイクルを推進することは、CO<sub>2</sub>削減に大きな効果があるといえる。

また、TC型省力化軌道のCO<sub>2</sub>削減効果を検討した。TC型省力化軌道は敷設時のCO<sub>2</sub>排出量が大きいのため、省力化軌道のメンテナンスによるCO<sub>2</sub>削減効果により、初期のCO<sub>2</sub>排出分を取り戻すには時間がかかり、1級中央本線では少なく見積もっても40年はかかってしまうことが分かった。

## 6.2 今後の課題

LCAの精度を向上させるためには、プロセスデータの充実が求められる。LCAを行うにあたり、ライフサイクル全体の正確なプロセスデータが必要であるわけだが、現状においてデータベースはまだ不十分であることが、データ収集をする上で明らかになった。あらゆる製品のLCAに十分対応できるよう、データベースの更なる発展が待ち望まれる。

また、本研究ではCO<sub>2</sub>のみの解析に終わったが、NO<sub>x</sub>やSO<sub>x</sub>、廃棄物等その他の環境負荷に対するLCA評価を行うことも必要である。

# 付録

## EMLCAに入力したプロセスデータを掲載する

## ・各線区共通データ

レール(60K)製造				
F	レール(60K)	Rkm	1	重量:1000m*60.8kg/m=60800kg
I	型鋼	kg	-60800	
レール(50N)製造				
F	レール(50N)	Rkm	1	重量:1000m*50.4kg/m=50400kg
I	型鋼	kg	-50400	
マクラギ(PC)製造				
F	マクラギ(PC)	本	1	165kg/本 (重量比)コンクリート:鉄筋=99.999:0.001
I	コンクリート	kg	-164.99835	165*0.99999
I	鉄筋	kg	-0.00165	165*0.00001
幅広PCマクラギ製造				
F	幅広PCマクラギ	本	1	352kg/本 重量比 コンクリート:鉄筋=99.999:0.001
I	コンクリート	kg	-351.99648	352*0.99999
I	鉄筋	kg	-0.00352	352*0.00001
マクラギ(木)製造				
F	マクラギ(木)	本	1	55kg/本
I	木材	kg	-55	
木材採掘原単位				
F	木材	kg	1	
L	CO2	kg	0.00076	木材採掘原単位
バラストの採掘				
F	バラスト	m3	1	
L	CO2	kg	7.54	
鉄筋運搬船空運搬				
F	鉄筋運搬船空運搬	t・km	1	
L	CO2	kg	0.0416	内前船舶輸送原単位
船空運搬				
F	船空運搬	t・km	1	
L	CO2	kg	0.0416	内前船舶輸送原単位
機関車運搬				
F	機関車運搬	t・km	1	レールセンター～材料基地
L	CO2	kg	0.0192	
トラック運搬				
F	トラック運搬	t・km	1	10tトラック運搬 積載率100% 平均時速30km/hと推定
L	CO2	kg	0.0298	トラック輸送原単位
省力化MC(砕石)				
F	MC	km	1	
I	軽油	l	-1815	1815 l/km
L	CO2	kg	4791.6	(軽油由燃焼原単位)2.64 kg-CO2/l * 1815 l
省力化MTT				
F	MTT	km	1	
I	軽油	l	-1084	1084 l /m
L	CO2	kg	2861.76	(軽油由燃焼原単位)2.64 kg-CO2/l * 1084 l
省力化てん充MC				
F	省力化てん充MC	km	1	
I	てん充材(コンクリートモルタル)	m3	-234	234m3/km
I	軽油	l	-411	411 l/km
L	CO2	kg	1085.04	(軽油由燃焼原単位)2.64 kg-CO2/l * 411 l
レール(60K)リユース				
F	使用済レール(60K)	Rkm	-1	
O	レール(60K)	Rkm	0	
O	廃棄レール	t	60.8	
レール(50N)リユース				
F	使用済レール(50N)	Rkm	-1	
O	レール(50N)	Rkm	0	
O	廃棄レール	t	50.4	
廃棄レールリサイクル				
F	鉄屑	kg	1000	
I	廃棄レール	t	-1	
廃棄レール代替				
F	廃棄レール	t	-1	
O	銑鉄	kg	1000	
MITT・BR施工				
F	MITT・BR	km	1	
I	軽油	l	-318.1	
L	CO2	kg	839.784	(軽油由燃焼原単位)2.64 kg-CO2/l * 318.1 l
BH施工				
F	BH	km	1	
I	軽油	l	-1250	
L	CO2	kg	3300	(軽油由燃焼原単位)2.64 kg-CO2/l * 1250 l

## 山手線軌道メンテナンス (作業数量データは2002-2004 平均値)

山手線軌道メンテナンス			
F	山手線軌道メンテナンス	年	1
I	山手線軌道レール交換	年	-1
I	山手線軌道マクラギ交換	年	-1
I	山手線軌道道床交換補充	年	-1
I	MTT・BR	km	-0.1
山手線軌道レール交換			
F	山手線軌道レール交換	年	1
I	レール(60K)	Rkm	-6.9
I	レール(50N)	Rkm	-0.1
I	山手線レール運搬	t	-424.56
O	使用済レール(60K)	Rkm	6.9
O	使用済レール(50N)	Rkm	0.1
I	山手線使用済レール運搬	t	-424.56
山手線軌道マクラギ交換			
F	山手線軌道マクラギ交換	年	1
I	マクラギ(PC)	本	-70
I	マクラギ(木)	本	-65
I	トラック運搬	t・km	-2265
O	使用済マクラギ(PC)	本	70
O	使用済マクラギ(木)	本	65
山手線軌道道床交換補充			
F	山手線軌道道床交換補充	年	1
I	バラスト	m3	-117.4
I	トラック運搬	t・km	-18690
O	廃棄バラスト	m3	14.4
山手線レール運搬			
F	山手線レール運搬	t	1
I	鉄鋼運搬船運搬	t・km	-1000
I	浮運搬	t・km	-20
I	機関車運搬	t・km	-50
I	山手線MC運搬	t	-1
山手線使用済レール運搬			
F	山手線使用済レール運搬	t	1
I	山手線MC運搬	t	-1
I	トラック運搬	t・km	-50
山手線MC運搬			
F	山手線MC運搬	t	424.56
I	軽油	l	-1165.2
L	CO2	kg	3076.128

## 中央本線軌道メンテナンス (作業数量データは2002-2004 平均値)

中央本線軌道メンテナンス			
F	中央本線軌道メンテナンス	年	1
I	中央本線軌道レール交換	年	-1
I	中央本線軌道マクラギ交換	年	-1
I	中央本線軌道道床交換補充	年	-1
I	MTT・BR	km	-36.7
中央本線軌道レール交換			
F	中央本線軌道レール交換	年	1
I	レール(60K)	Rkm	-12.4
I	レール(50N)	Rkm	-0.2
I	中央本線レール運搬	t	-764
O	使用済レール(60K)	Rkm	12.4
O	使用済レール(50N)	Rkm	0.2
I	中央本線使用済レール運搬	t	-764
中央本線軌道マクラギ交換			
F	中央本線軌道マクラギ交換	年	1
I	マクラギ(PC)	本	-2216
I	マクラギ(木)	本	-728
I	トラック運搬	t・km	-60840
O	使用済マクラギ(PC)	本	2216
O	使用済マクラギ(木)	本	728
中央本線軌道道床交換補充			
F	中央本線軌道道床交換補充	年	1
I	バラスト	m3	-1239.8
I	トラック運搬	t・km	-213780
O	廃棄バラスト	m3	370.8
中央本線レール運搬			
F	中央本線レール運搬	t	1
I	鉄鋼運搬船運搬	t・km	-1000
I	浮運搬	t・km	-20
I	機関車運搬	t・km	-100
I	中央本線MC運搬	t	-1
中央本線使用済レール運搬			
F	中央本線使用済レール運搬	t	1
I	中央本線MC運搬	t	-1
I	トラック運搬	t・km	-50
中央本線MC運搬			
F	中央本線MC運搬	t	764
I	軽油	l	-2107.6
L	CO2	kg	5564.064

## 東北本線軌道メンテナンス（作業数量データは2002-2004 平均値）

東北本線軌道メンテナンス				
F	東北本線軌道メンテナンス	年	1	
I	東北本線軌道レール交換	年	-1	
I	東北本線軌道マクラギ交換	年	-1	
I	東北本線軌道道床交換補充	年	-1	
I	MTT・BR	km	-177.4	
東北本線軌道レール交換				
F	東北本線軌道レール交換	年	1	
I	レール(60K)	Rkm	-7.8	60K、50Nの交換量は60K、50Nの敷設割合から算出
I	レール(50N)	Rkm	-35.5	
I	東北本線レール運搬	t	-2263.44	
O	使用済レール(60K)	Rkm	7.8	
O	使用済レール(50N)	Rkm	35.5	
I	東北本線使用済レール運搬	t	-2263.44	
東北本線軌道マクラギ交換				
F	東北本線軌道マクラギ交換	年	1	毎年222.2tのマクラギ交換
I	マクラギ(PC)	本	-861	
I	マクラギ(木)	本	-1458	
I	トラック運搬	t・km	-55550	供給:メーカー~材料基地~現場 222.2t*200km、使用済:現場~産廃処分 222.2t*50km
O	使用済マクラギ(PC)	本	861	
O	使用済マクラギ(木)	本	1458	
東北本線軌道道床交換補充				
F	東北本線軌道道床交換補充	年	1	毎年13427.1tのバラストを交換、補充
I	バラスト	m3	-8950.8	交換用 910.8m3 補充用 8040m3
I	トラック運搬	t・km	-1410930	供給:メーカー~現場 8950.8m3*1.5t/m3*100km 廃棄:現場~メーカー 910.8m3*1.5t/m3*50km
O	廃棄バラスト	m3	910.8	
東北本線レール運搬				
F	東北本線レール運搬	t	1	
I	鉄鋼運搬船運搬	t・km	-1500	メーカー(北九州or福山)~埠頭、1t*1500km
I	浮運搬	t・km	-20	埠頭~レールセンター 1t*20km
I	機関車運搬	t・km	-200	レールセンター~材料基地 1t*200km
I	東北本線MC運搬	t	-1	材料基地~現場
東北本線使用済レール運搬				
F	東北本線使用済レール運搬	t	1	
I	東北本線MC運搬	t	-1	現場~材料基地
I	トラック運搬	t・km	-50	材料基地~資材センター(リサイクル):1t*50km
東北本線MC運搬				
F	東北本線MC運搬	t	2263.44	材料基地~現場
I	軽油	l	-7245.3	
L	CO2	kg	19127.592	(軽油燃焼原単位)2.64kg-CO2/l*7245.3l

## 羽越本線軌道メンテナンス（作業数量データは2002-2004 平均値）

羽越本線軌道メンテナンス				
F	羽越本線軌道メンテナンス	年	1	
I	羽越本線軌道レール交換	年	-1	
I	羽越本線軌道マクラギ交換	年	-1	
I	羽越本線軌道道床交換補充	年	-1	
I	MTT・BR	km	-114.3	
羽越本線軌道レール交換				
F	羽越本線軌道レール交換	年	1	
I	レール(60K)	Rkm	-1.1	60K、50Nの交換量は60K、50Nの敷設割合から算出
I	レール(50N)	Rkm	-19.7	
I	羽越本線レール運搬	t	-1059.76	
O	使用済レール(60K)	Rkm	1.1	
O	使用済レール(50N)	Rkm	19.7	
I	羽越本線使用済レール運搬	t	-1059.76	
羽越本線軌道マクラギ交換				
F	羽越本線軌道マクラギ交換	年	1	毎年59.8tのマクラギ交換
I	マクラギ(PC)	本	-106	
I	マクラギ(木)	本	-769	
I	トラック運搬	t・km	-11960	供給:メーカー~材料基地~現場 59.8t*150km、使用済:現場~産廃処分 59.8t*50km
O	使用済マクラギ(PC)	本	-106	
O	使用済マクラギ(木)	本	-769	
羽越本線軌道道床交換補充				
F	羽越本線軌道道床交換補充	年	1	毎年8098.6tのバラストを交換、補充
I	バラスト	m3	-5399.6	交換用 570.6m3 補充用 4829m3
I	トラック運搬	t・km	-852735	供給:メーカー~現場 5399.6m3*1.5t/m3*100km 廃棄:現場~メーカー 570.6m3*1.5t/m3*50km
O	廃棄バラスト	m3	570.6	
羽越本線レール運搬				
F	羽越本線レール運搬	t	1	
I	鉄鋼運搬船運搬	t・km	-1000	メーカー(北九州or福山)~埠頭、1t*1000km
I	浮運搬	t・km	-20	埠頭~レールセンター 1t*20km
I	機関車運搬	t・km	-400	レールセンター~材料基地 1t*400km
I	羽越本線MC運搬	t	-1	材料基地~現場
羽越本線使用済レール運搬				
F	羽越本線使用済レール運搬	t	1	
I	羽越本線MC運搬	t	-1	現場~材料基地
I	トラック運搬	t・km	-50	材料基地~資材センター(リサイクル):1t*50km
羽越本線MC運搬				
F	羽越本線MC運搬	t	1059.76	材料基地~現場
I	軽油	l	-3496.4	
L	CO2	kg	9230.496	(軽油燃焼原単位)2.64kg-CO2/l*3496.4l

## 水郡線軌道メンテナンス（作業数量データは2002-2004 平均値）

水郡線軌道メンテナンス			
F	水郡線軌道メンテナンス	年	1
I	水郡線軌道レール交換	年	-1
I	水郡線軌道マクラギ交換	年	-1
I	水郡線軌道道床交換補充	年	-1
I	MTT・BR	km	-32.4
水郡線軌道レール交換			
F	水郡線軌道レール交換	年	1
I	レール(60K)	Rkm	0
I	レール(50N)	Rkm	-7.5
I	水郡線レール運搬	t	-378
O	使用済レール(60K)	Rkm	0
O	使用済レール(50N)	Rkm	7.5
I	水郡線使用済レール運搬	t	-378
水郡線軌道マクラギ交換			
F	水郡線軌道マクラギ交換	年	1
I	マクラギ(PC)	本	0
I	マクラギ(木)	本	-6764
I	トラック運搬	t・km	-55800
O	使用済マクラギ(PC)	本	0
O	使用済マクラギ(木)	本	-6764
水郡線軌道道床交換補充			
F	水郡線軌道道床交換補充	年	1
I	バラスト	m3	-2828
I	トラック運搬	t・km	-487650
O	廃棄バラスト	m3	846
水郡線レール運搬			
F	水郡線レール運搬	t	1
I	鉄鋼運搬船運搬	t・km	-1000
I	浮運搬	t・km	-20
I	機関車運搬	t・km	-200
I	水郡線MC運搬	t	-1
水郡線使用済レール運搬			
F	水郡線使用済レール運搬	t	1
I	水郡線MC運搬	t	-1
I	トラック運搬	t・km	-50
水郡線MC運搬			
F	水郡線MC運搬	t	378
I	軽油	l	-1267
L	CO2	kg	3344.88

## 中央本線軌道省力化

中央本線軌道省力化			
F	中央本線省力化	回	1
I	中央本線省力化レール交換	回	-1
I	中央本線省力化マクラギ交換	回	-1
I	中央本線省力化道床交換	回	-1
I	MC	km	-62
I	BH	km	-62
I	MTT	km	-62
I	省力化でん充MC	km	-62
中央本線省力化レール交換			
F	中央本線省力化レール交換	回	1
I	レール(60K)	Rkm	-124
I	中央本線レール運搬	t	-7539.2
O	使用済レール(60K)	Rkm	124
I	中央本線使用済レール運搬	t	-7539.2
中央本線省力化マクラギ交換			
F	中央本線省力化マクラギ交換	回	1
I	幅広PCマクラギ	本	-82460
I	トラック運搬	t・km	-3695172.25
O	使用済マクラギ(PC)	本	95959.31142
O	使用済マクラギ(木)	本	333.771518
中央本線省力化道床交換			
F	中央本線省力化道床交換	回	1
I	バラスト	m3	-45136
I	トラック運搬	t・km	-10155600
O	廃棄バラスト	m3	45136

## 東北本線軌道省力化

東北本線軌道省力化			
F	東北本線省力化	回	1
I	東北本線省力化レール交換	回	-1
I	東北本線省力化マクラギ交換	回	-1
I	東北本線省力化道床交換	回	-1
I	MC	km	-399.3
I	BH	km	-399.3
I	MTT	km	-399.3
I	省力化でん充MC	km	-399.3
東北本線省力化レール交換			
F	東北本線省力化レール交換	回	1
I	レール(60K)	Rkm	-798.6
I	東北本線レール運搬	t	-48554.88
O	使用済レール(60K)	Rkm	149
O	使用済レール(50N)	Rkm	649.6
I	東北本線使用済レール運搬	t	-41799.04
東北本線省力化マクラギ交換			
F	東北本線省力化マクラギ交換	回	1
I	幅広PCマクラギ	本	-531004
I	トラック運搬	t・km	-42839685.35
O	使用済マクラギ(PC)	本	659025.1426
O	使用済マクラギ(木)	本	7290.476236
東北本線省力化道床交換			
F	東北本線省力化道床交換	回	1
I	バラスト	m3	-290655
I	トラック運搬	t・km	-65397375
O	廃棄バラスト	m3	290655

## 羽越本線軌道省力化

## 羽越本線軌道省力化

F	羽越本線省力化	回	1	省力化可能軌道延長 246.1km
I	羽越本線省力化レール交換	回	-1	全てのレールを60Kレールに交換
I	羽越本線省力化マクラギ交換	回	-1	全てのマクラギを幅広PCマクラギに交換
I	羽越本線省力化道床交換	回	-1	
I	MC	km	-246.1	
I	BH	km	-246.1	
I	MTT	km	-246.1	
I	省力化てん充MC	km	-246.1	
F	羽越本線省力化レール交換	回	1	
I	レール(60K)	Rkm	-492.2	(省力化可能軌道延長)246.1km <sup>2</sup>
I	羽越本線レール運搬	t	-29925.76	60.8kg/m <sup>2</sup> 492.2Rkm
O	使用済レール(60K)	Rkm	29.2	14.6km <sup>2</sup>
O	使用済レール(50N)	Rkm	463	(246.1-14.6)km <sup>2</sup>
I	羽越本線使用済レール運搬	t	-25110.56	
F	羽越本線省力化マクラギ交換	回	1	0.352t/本*327313本=115214tの幅広PCマクラギが必要
I	幅広PCマクラギ	本	-327313	
I	トラック運搬	t・km	-20114282.65	供給:メーカー~材料基地~現場 115214t*150km、使用済:現場~産廃処分(56381.655+261.47)*50km
O	使用済マクラギ(PC)	本	341706.8488	省力化可能軌道の割合を考慮して算出 重量:0.165t/本*341707本=56381.655t
O	使用済マクラギ(木)	本	4753.931707	省力化可能軌道の割合を考慮して算出 重量:0.055t/本*4754本=261.47t
F	羽越本線省力化道床交換	回	1	
I	バラスト	m3	-179161	延長km*0.728m3/m
I	トラック運搬	t・km	-40311225	供給:メーカー~現場 179161m3*1.5t/m3*100km 廃棄:現場~メーカー 179161m3*1.5t/m3*50km
O	廃棄バラスト	m3	179161	

## 水郡線軌道省力化

## 水郡線軌道省力化

F	水郡線省力化	回	1	省力化可能軌道延長 131.7km
I	水郡線省力化レール交換	回	-1	全てのレールを60Kレールに交換
I	水郡線省力化マクラギ交換	回	-1	全てのマクラギを幅広PCマクラギに交換
I	水郡線省力化道床交換	回	-1	
I	MC	km	-131.7	
I	BH	km	-131.7	
I	MTT	km	-131.7	
I	省力化てん充MC	km	-131.7	
F	水郡線省力化レール交換	回	1	
I	レール(60K)	Rkm	-263.4	(省力化可能軌道延長)131.7km <sup>2</sup>
I	水郡線レール運搬	t	-16014.72	60.8kg/m <sup>2</sup> 263.4Rkm
O	使用済レール(50N)	Rkm	263.4	
I	水郡線使用済レール運搬	t	-13275.36	
F	水郡線省力化マクラギ交換	回	1	0.352t/本*175161本=26456.6tの幅広PCマクラギが必要
I	幅広PCマクラギ	本	-175161	
I	トラック運搬	t・km	-6693557.2	供給:メーカー~材料基地~現場 26456.6t*100km、使用済:現場~産廃処分(643.17+9914.63)*50km
O	使用済マクラギ(PC)	本	3893.32	省力化可能軌道の割合を考慮して算出 重量:0.165t/本*3893本=643.17t
O	使用済マクラギ(木)	本	180266.0822	省力化可能軌道の割合を考慮して算出 重量:0.055t/本*180266本=9914.63t
F	水郡線省力化道床交換	回	1	
I	バラスト	m3	-95878	延長km*0.728m3/m
I	トラック運搬	t・km	-21572550	供給:メーカー~現場95878m3*1.5t/m3*100km 廃棄:現場~メーカー 95878m3*1.5t/m3*50km
O	廃棄バラスト	m3	95878	

## 謝辞

この研究室に配属させていただいて以来、研究をはじめとして日々の学生生活を送る上で、研究室の皆さんには大変お世話になりました。

ＬＣＡを学ぶ上で、盧さんにはとてもお世話になりました。私と机が向かい同士だった盧さんは、いつでも私の質問に親切丁寧に答えて下さいました。本当に感謝しております。

卒業研究の指導教員をしていただいた酒井先生には、研究会やＬＣＡの打ち合わせにおいて数多くの助言を頂きました。大変感謝しております。泉先生からは、研究を進める上で参考になるお話を幾つもしていただきました。助手の原さんはいつも親切に接して下さいました。浅川さんはいろいろと気を使って下さいました。

諸先輩は皆さん温かい方で、この一年間はいつも楽しく過ごすことが出来ました。この研究室を志望して良かったと思います。

J R 東日本の松本様、三島様にはデータの提供をして頂いただけでなく、何度も打ち合わせに足を運んでいただき、的確なご指摘を頂戴いたしました。おかげさまでこうして卒論を完成させることが出来ました。感謝しております。

こうして充実した 1 年を送ることができたのは、お世話になった皆様のおかげです。本当にありがとうございました。

## 参考文献

- 1 小野寺孝行、レールの長寿命化の研究開発、JR EAST Technical Review-No.10 2005 年
- 2 横山晃治、ライフサイクルアセスメントにおける感度分析及び不確定性解析、修士論文、東京大学、1998年
- 3 富士総合研究所、企業のためのLCAガイドブック、2001年
- 4 Suh and G.hupps: "missing Inventory Estimation Too; Using Extended Input-Output Analysis", *International Journal of LCA*, vol7, No3, pp.134-140(2002-3)
- 5 酒井信介、感度分析ソフトEMLCAの技術的背景、13 ページ、2005年、社会法人 未踏科学技術協会 エコマテリアル研究会
- 6 社会法人 産業環境管理協会 LCA日本フォーラムHP  
(<http://www.jemei.or.jp/lcaforum/index.cfm>)
- 7 LCA日本フォーラム・社会法人産業環境管理協会、「LCAフォーラム報告書」1997年6月、114 ページ
- 8 株式会社 JFEスチールHP  
(<http://www.jfe-steel.co.jp/products/index.html>)
- 9 佐藤吉彦、梅原利之:「線路工学」、p33,39 日本鉄道施設協会、1987年2月

以上

1～64 ページ完

卒業論文

平成 18 年 2 月 3 日提出

40177 岡田幸順