

環境的視点から見た自動車交通 代替交通機関の選定¹

～仮想都市をケーススタディとして～

日本大学 都市計画研究室
2006年12月

阿部祐司 浅井睦正 今井寛樹 内田省吾
小美野亮平 川瀬嘉記 小森一輝 中島剛司
深野寿正 圓山洋平 山田昌司

1 本稿は、2006年12月16日、4日に開催される、ISFJ（日本政策学生会議）、「政策フォーラム2006」のために作成した論文の要点である。本稿の作成にあたっては、岸井隆幸教授（日本大学）をはじめ、多くの方々から有益且つ熱心なコメントを頂戴した。ここに記して感謝の意を表したい。しかしながら、本稿にあり得べき誤り、主張の一切の責任はいうまでもなく筆者たち個人に帰するものである。（タイトルに脚注をつけてください。脚注は、「挿入」→「脚注」→「脚注」「自動脚注番号」、フォント10、脚注のフォントに関しては、以下同じ。）

目次

はじめに

第1章 政策提言

第1節 政策提言の方向性

第2章 問題意識

第1節 (1. 1) 現状把握

第3章 先行研究

第1節 (1. 1) 研究の概要

第4章 シュミレーション

第1節 (1. 1) 仮想都市の概要

第2節 (1. 2) 代替交通機関の詳細

第3節 (1. 3) 代替交通機関の導入

第5章 まとめ

参考文献・データ出典

はじめに

我が国におけるモータリゼーションの発展は、人々の移動時間の短縮を可能にし、日常生活に様々な変化をもたらしてきた。しかし、その中で我が国は、地球温暖化の原因である炭酸ガス排出増加といった深刻な問題を抱えている。また、都市内では交通渋滞が慢性化し、移動制約に伴う多大な時間的、経済的損失を招いているとともに、交通渋滞がもたらす騒音、振動問題など様々な公害の発生原因にも繋がっている。

特に、人口 40 万人規模の中核都市の交通形態では利用者をバス等の公共交通ではまかないきれない上、鉄道などの大量交通機関では利用者の減少が顕著となっているのが現状である。そのため、将来の総合都市交通体系の構築とまちづくりの形成を図るために、新しい交通システムの導入が様々な都市で導入されている。

そこで本研究では、新交通ネットワークを導入した人口 35~45 万人の仮想のモデル都市をつくり、4 段階推定法の原理を用いて交通シミュレーションを行う。次に、モデル都市に数種類の新交通システムの導入を検討し、各システムの建設による CO₂ 排出量や運行時に発生する CO₂ 排出量などから考える CO₂ 削減による環境負荷低減などを考え、これからの都市にふさわしい交通総負荷の小さい新交通システムの提案方法を考えることとする。

第1章 政策提言

第1章では、我々の主張が分かりやすく伝わるように先に政策提言を行う。以降、3章4章にて問題意識、現状分析、シミュレーション結果を掲載した。

第1節 政策提言

現在、二酸化炭素を主要因とする地球温暖化問題は世界的な問題になっている。特に、交通分野、自動車から排出される二酸化炭素は多くの排出割合を占めている。

また、自動車交通は都市内に渋滞、振動、騒音、事故、スモッグなどの交通問題を引き起こす原因となっており自動車交通の削減はこれからの急務であろう。

自動車の有効な削減策のひとつとして、少ないエネルギーで効率的に人員輸送を行う公共交通機関の導入があげられる。

現在、建設が進行、または建設が最近完了した公共交通の例としては日暮里から見沼代親水公園までの新交通システム舎人線、明治通りの下を掘りぬく地下鉄13号線富山でJRの路線を買い取り開通した富山ライトレールがあり、公共交通機関導入が検討されている地域として宇都宮市、堺市などがある。

先にあげた2市は、LRTの導入を検討しているが公共交通手段には他に、

- 鉄道
- 軌道
- 地下鉄、ミニ地下鉄
- モノレール
- 路面電車
- 新交通システム
- トロリーバス
- ガイドウェイバス
- ロープウェイ
- ケーブルカー
- 路線バス
- コミュニティバス
- 高速バス
- タクシー
- 乗合タクシー

などが、あげられる。

新たに都市内に公共交通を導入しようとするれば、これら交通手段から選定することになる。選定の基準としては、

- 建設費
- 採算性
- 土地利用パターン
- 費用便益
- 導入場所の地域特性
- 導入する時期の流行
- 社会情勢
- 沿線居住環境に与える影響

などがある。これらの条件からその地域に一番適した交通手段が選定されている。

しかしながら、これまでの選定基準には、先に述べた自然環境や二酸化炭素に関しての視点が盛り込まれていない。これから公共交通機関を新設する際には、従来の手段選定項目に加えその交通機関を導入することによってどれくらい二酸化炭素が削減できるのかまた、増加するかを検討していく必要があるだろう。

そこで、我々は二酸化炭素の排出量に注目した交通手段の選定を提案する。具体的には、以下の項目について選定項目として追加すべきである。

1. 交通機関建設時排出二酸化炭素量
2. 交通機関運営時排出二酸化炭素量
3. 経年排出量の比較

実際の政策提言実施例は、第4章以降で行った。以上をもって、政策提言とする。

第2章 問題意識

本章では、政策提言するに至った問題意識について記述する。

第1節 現状把握

現在、地球においてさまざまな環境問題が危惧されている。その中でも、地球温暖化は早急に解決策を講じなければならないもののひとつであると考えられる。日本では1997年に地球温暖化防止京都会議（COP3）が開催され、国民の環境に対する意識が徐々に高まりつつある。しかし、現状は、地球温暖化防止京都会議（COP3）のホスト国でありながら、EU 諸国等の先進他国に遅れをとっており、目標達成も難しい状況となっている。

日本における温暖化現象の影響としては、

- ・ 気候の変化 …… 集中豪雨、熱帯夜、真冬日の減少
- ・ 自然の変化 …… 植生の変化（熱帯化）、生物の分布域の変化、珊瑚の白化
- ・ 市民生活 …… 浸水、台風、エネルギー消費の増加、熱中症、光化学スモッグなどが考えられる。

図1 日本の部分別二酸化炭素排出量の割合（2003）

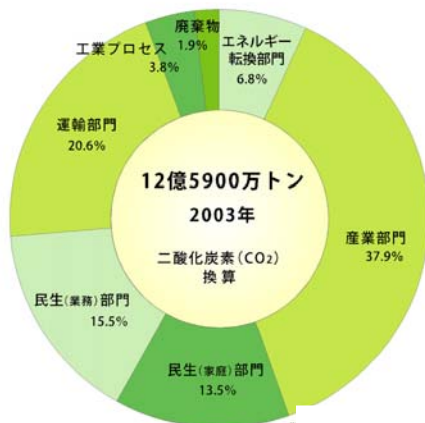
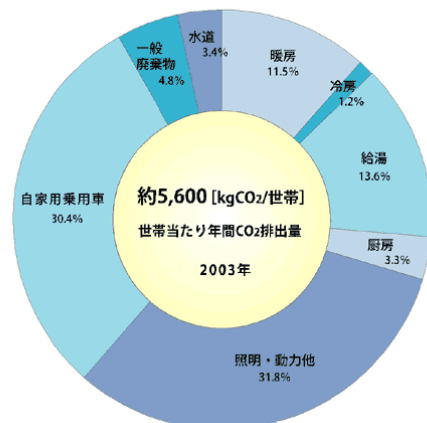


図2 家庭からの二酸化炭素排出量（2003）



この温暖化現象の一番の原因は、二酸化炭素の増加である。二酸化炭素の排出の実態としては、図1より二酸化炭素の排出部門2位を占めるのが運輸部門。また、家庭の排出量を見ると自動車が2位になっている。

以上から温暖化現象は、重大な問題でありその原因として考えられる二酸化炭素の排出に関して大部分を占めている交通体系について考えていく。

第3章 先行研究

第1節 研究の概要

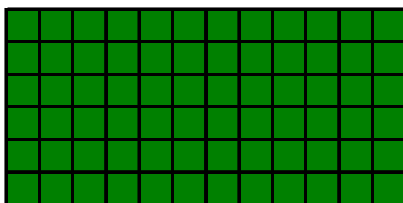
既存の研究においては、DID 人口 35～45 万人の仮想都市モデルを対象とし、土地利用パターンと道路ネットワークの体系の組み合わせにより都市構造における交通負荷量の比較を行い、負荷が最も小さい都市構造モデルを明らかにした。

具体的な研究方法は以下の通りである。

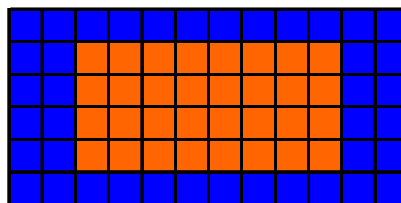
1. 人口密度の構成を変えた 5 種類の長方形土地利用密度パターンを設定
2. DID 人口 35～45 万人都市における道路網密度の調査
3. 2. より、特徴を持った平均的なネットワークの設定
4. 四段階推定法の理論を利用した交通量配分
5. 求められた結果より「総走行台キロ」「総走行台時」「平均速度」及び「混雑の状況」を考察
6. 最も交通総負荷の小さい都市構造の提案

土地利用密度パターンはパターン 1、パターン 2、パターン 3 に設定し、高密度な土地利用配置は中央集中、線上の 2 種類を想定した。また道路網パターンは先行研究の幹線道路網密度 1.75 km/km^2 をもとに街区道路と幹線道路の配置を組み合わせで作成した。

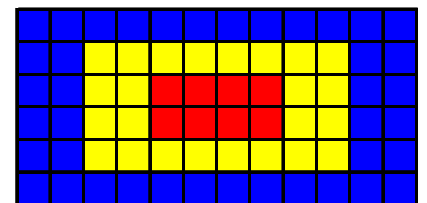
シミュレーションを行った結果、最も良い値を示すネットワークは放射と環状を複合的に整備した形であることが分かった（第 2 章第 4 節）。道路の容量に関しては、周辺部に向かうにつれて容量を抑える方が道路の有効利用やコスト面から有用である。また土地利用密度パターンに関しても、中心市街地から周辺部にかけて段階的に密度が下がっているパターンの方がより良い結果を示した。



パターン 1



パターン 2



パターン 3

四段階推定法・・・発生・集中交通量、分布交通量、機関分担交通量、配分交通量という 4 つの予測を段階的に進める需要予測方法。

第4章 シミュレーション

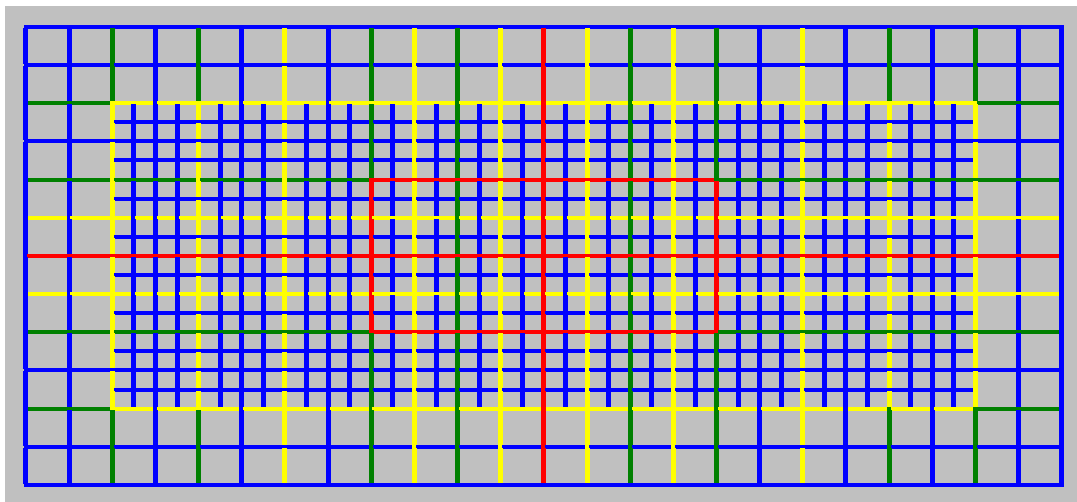
本章では、先に行った政策提言に基づき交通量予測ソフトジャイカストラダを用い自動車交通のみに依存した仮想都市の交通量予測と、5種類の中量代替交通機関を導入し交通量予測を行った結果から二酸化炭素排出量を算出しどの代替交通機関が最も二酸化炭素量を削減できるのかを検討する。

第1節 仮想都市の概要

1. 先行研究より得られた 12km×6km 長方形型の最適なネットワークをもちいる。
2. この都市は DID 人口 35～45 万人である。
3. 交通は都市内交通（他都市への出入がない）だけに限定する。
4. 交通の種類として、自動車交通に加えミニ地下鉄・LRT・新交通システム・モノレール・ガイドウェイバスの5種類を導入した。

以下に、仮想都市のネットワーク図と人口分布を示す。

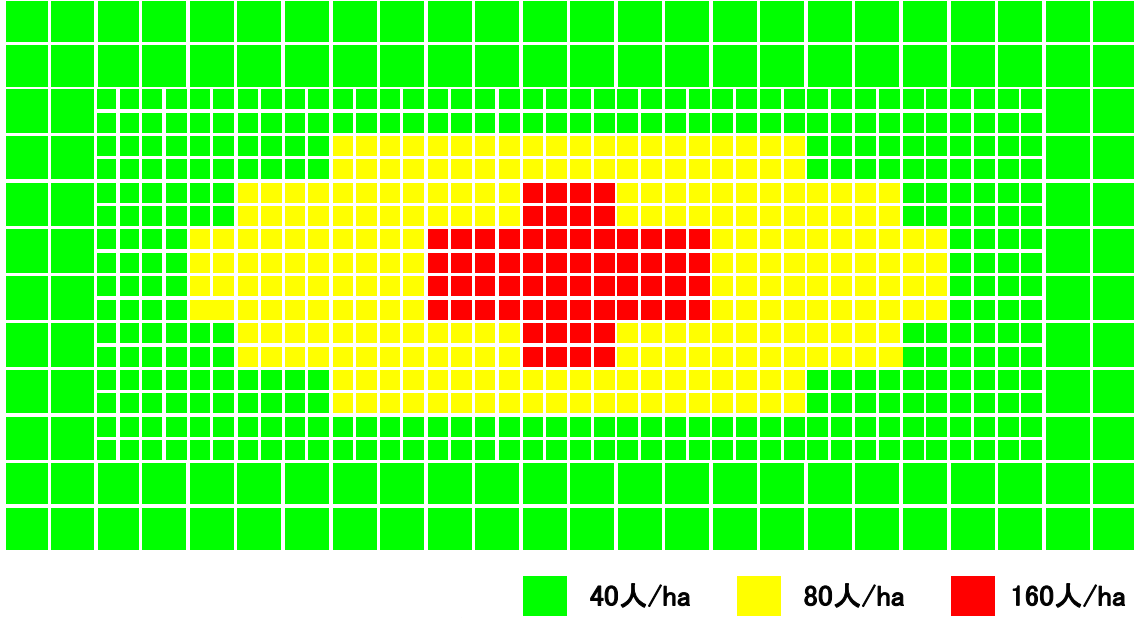
図1 ネットワーク図



道路種別	車線数	容量 (pcu/day)	制限速度 (km/h)	道路等等級
街区道路 小	2 (歩道なし)	2000	20	4種3級
街区道路 大	2 (歩道なし)	7000	30	4種2級
補助幹線道路	2 (歩道あり)	12000	40	4種1級
主要幹線道路	4	48000	50	4種1級 (他車線)

500m×500m と 250m×250m の格子からなる 12km×6 km の仮想都市を用いる。そして、道路については、中央に軸となる 4 車線の主要幹線道路を配置し、その周りに順次段階的に配置していった。

図2 人口密度パターン



中心に密度の高い地域を配置し放射状に人口を分布させている。

DID (人口集中地区)・・・1.「原則として人口密度が1平方キロメートル当たり4,000人以上の基本単位区等が市区町村の境域内で互いに隣接」して、2.「それらの隣接した地域の人口が国勢調査時に5,000人以上を有する地域」

代替交通機関の詳細

第2節では、第1節の仮想都市に導入する代替交通機関の詳細を検討する。

ただし、本仮想都市は DID 人口 35 万～40 万人（埼玉県春日部市や長崎県長崎市など）のある程度完成された都市であるから広大な敷地と多額の資金を必要とする鉄道は敷設する事ができない。

また、自動車交通がある程度成熟していることから新たに多額の資金を使って交通機関を建設する事は不可能であると考え、地下鉄とバスの中間的輸送力を持ち広大な敷地を必要とせず比較的安価に建設する事のできる中量交通機関を代替交通機関として導入する。

都市圏内交通比較 (移動距離10～18km程度)		
比較項目	大量輸送交通	中量輸送交通
建設費(億円/km)	300～	200
用地	広大な用地が必要	規模が小さいため省スペース
輸送力(人/h)	10,000～100,000	2,000～20,000
移動距離(km)	4～100以上	2～15
具体例	JR、私鉄、地下鉄	ミニ地下鉄、モノレール、LRT、新交通システム

表1 大量輸送機関と中量交通機関の比較

第1項 代替交通機関の詳細

1. ガイドウェイバス

専用軌道走行と一般路面走行のデュアルモード（二元性）がシステムの大きな利点であることから、その概念は優先・専用レーン、基幹バス（中央専用レーン走行システム）等の路線バスがさらに発展した姿である。

従来の路線バスに簡易な機械式の案内装置を取り付け、専用軌道上をガイドレールに案内されて走行するシステムで、ガイドレールによる軌道案内走行中は運転士のハンドル操作をする必要はなく、アクセルとブレーキの操作のみでよい、ガイドレールで誘導するため、走行路の幅員は最小限ですみ、専用走行路の全体幅員は往復のダブルレーンの場合で7.5km程度となり、高架の一般道路に比べて、大幅な幅員の節約となる。

図3 ガイドウェイバス




項目	性能及び内容
運送力	最大9600人/h程度
運行ヘッド	約30秒程度
モード	デュアル
最高速度	60km/h
表定速度	20～30km/h
車両・車体	一般路線バスに安全輪を取り付けた改造車
定員	80人程度
支持方式	ゴムタイヤ(前輪は補助輪を内臓)
操舵方式	案内輪による機械的ステアリング(専用軌道上) ハンドリング(一般路面上)
回転半径	専用軌道上では最小約16m
案内レール間隔	最小2.5m

表2 システム基本仕

・システムの主な特徴

1. 表定速度の向上、定時制の確保
2. 建設費の低コスト化
3. 乗り換え利便性
4. 段階的整備への対応
5. 既存バス事業者との適応性

事業具体例  名古屋ガイドウェイバス志段味線

・事業概要

名古屋市は志の東北部に位置する志段味地区は「志段味ヒューマン・サイエンス・タウン」と位置づけ、土地区画整理事業による宅地開発を進めている。

志段味地区から都心への交通機関として、鉄道では、JR 中央線、名鉄瀬戸線が地区の南北を隣接して通っている。鉄道は、混雑度が高く、また、志段味地区からのアクセスが不十分であることから鉄道の利用率は低くなっている。一方、バス交通は JR バス、名鉄バスが運行されていたが、都心部付近での交通渋滞が厳しく、定時性が確保できていなかった。

名古屋市では、この地区から都心部に向けて発生する新たな交通需要に対応するためにガイドウェイバスの導入を決定した。

・路線の概要

項目	内容
整備期間	1996年2月着工 2001年3月開業
導入区間	大曾根～小幡緑地間約6.5km (建設キロ:約6.8km)
運行方式	デュアルモード、ディーゼル方式
駅間隔	0.5～1.1km
事業費	約400億円
最高速度	60km/h
運転間隔	朝ピーク時3～5分 昼間約10分 夕ピーク約5分

表3 路線の概要

・名古屋ガイドウェイバス志段味線のシステム概要

高架の専用軌道区間と一般道路区間を直通するのが大きな特徴、大曾根～小幡緑地間約6.5kmでは道路中央の高架軌道上を走行し、バスの車体両側に突き出した車両の前輪と連動する案内装置が、レールの内側をトレースして走行するのでハンドル操作は不要である。一般道路区間では、案内装置をバス本体に格納し、運転士がハンドル操作を行って、普通のバスと同様に運転される。車両の走行モードの切り替えは案内装置の出し入れだけで、モードインターチェンジで行う。運行管理は運転指令室で一元的に行い、各駅ホームには接近案内表示システムが設置してあり、接近情報として2駅前からの接近情報を表示している。

・システムの選定理由

名古屋市では当初、新交通システムの導入が検討されたが、それだけの輸送需要が見込めず、最終的に、少ない需要領域での導入が可能で、しかも既存のバス事業者が参入しやすい等の観点から、ガイドウェイバスの導入が決定された。そのほかのシステムの選定理由として以下を挙げている。

1. ガイドウェイバスのデュアルモード性を生かし、地域開発の進捗に合わせた段階整備が可能である。
2. 定時制、高速性が確保でき、併行する道路交通からバスを分離することにより、自動車交通の円滑化が図れること。
3. 建設費が比較的安価であること。

2. 新交通システム (AGT)

新交通システム (Automated Guideway Transit: 案内軌条式鉄道) とは、一般的には「効果上等の専用軌道を小型軽量のゴムタイヤ付き車両がガイドウェイに沿って走行する中量輸送システム」をいい、無人運転も可能なシステムである。

道路上空に建設される新交通システムはモノレールと同様「インフラ補助 (支柱や軌道桁等)」の「都市モノレール法」の対象事業となる。

また導入空間として一般部において 25～30m、駅部において 30～35m の道路幅員が必要となる。

図4 新交通システム



・標準的新交通システム

種別	内容
輸送力	2000～20000人/h
運転	無人運転も可能なシステム
速度	最高速度: 50～60km/h 表定速度: 30～40km/h
車両	定員: 75人/両(4～6両編成) 車輪: ゴムタイヤ・1輪ボギー方式
案内方式	側方案内方式
分岐方式	水平可動案内方式
電気方式	原則として直流750V

表4 標準化新交通システム

・新交通システムの導入事例

1. 神戸新交通・ポートアイランド線「ポートライナー」
2. 頭新交通・六甲アイランド線「六甲ライナー」
3. 山万ユーカリが丘線
4. 埼玉新都市交通・伊奈線「ニューシャトル」
5. 西武鉄道山口線
6. 広島高速交通「アムストラムライン」
7. 横浜新都市交通「金沢シーサイドライン」
8. 桃花台新交通桃花台線「ピーチライナー」
9. 大阪氏南港ポートタウン・大阪港トランスポートシステム
10. ゆりかもめ (東京臨海新交通臨海線)
11. 東京都「日暮里・舎人線」
12. 関西空港

3. LRT

LRT とは、都市内高速大量交通と比べて、輸送力、速度などは劣るものの道路敷き等を利用して駅整備、インフラ構造物、信号安全システムがシンプルにでき、建設コストが大幅に低くすむ鉄輪式の電車である。

発展の過程は、路面電車のシンプルな技術をベースに、路線の専用軌道化や高性能車両の導入により輸送力、速達性、定時性、快適性といったサービス面が改善され、大量輸送機関とバスの中間の輸送力を持つ新しい中量輸送システムとして再生していった。

LRT と路面電車の違いは明確なものではなく、しっかりとした線引きは行われていない。そこで、この二つについて比較を行う。

	路面電車	LRT
輸送路形態	基本的には、街路上を一般道路交通と競合して運転される。ただし、時には優先措置を受け、または軌道を専用化して他の交通と分離される場合もある	路面電車と同様に街路上を走行するが、道路と分離した専用の軌道走行が基本的形態である。部分的に地下化、高架化を積極的に行い運行を目指している
運行特性	乗客の利便性は高いが、定時性、表定速度は、沿線の走行条件に大きく左右される。わが国における表定速度は、一般に 15km/h 程度となっている	専用軌道敷走行と高性能車両により、定時制および高い表定速度の確保が可能である。表定速度は 25km/h 以上を確保することも可能で、運行頻度も路面電車と比較して多く出来る
車両及び編成	車両は 4～6 軸で、長さが 14～21m、乗客人員は 100～180 人程度で、そのうち 20～40%が座席となっている。編成は 1 両または 2 両、まれに 3 両の編成で運行される。最高速度は 40～60km/h 程度	車両は 6～8 軸の分割連節車両、4～6 軸車両の 4 両編成、8 軸車両の 2 両編成等さまざまなものが運行されている。分割連節車両の長さは 20～30m 程度である。定員は 110～250 人程度、20～50%が座席である。最高速度は 70～80km/h 程度、100～125km/h 程度のものもある

表 5 路面電車と LRT の比較

図 5 従来の路面電車



図 6 LRV



・導入実態

1. ケルン (ドイツ)

人口 100 万人の都市であり、第 2 次世界大戦後の都市再生プログラムの中で地下鉄などに比べ投資額も少なく将来の発展性を考え、既存の路面電車を利用して行える LRT を導入した。

この場合 LRT の考え方としては、バスを保管するものである。その中で、路面電車を専用軌道化することで制限速度を改善することに成功した。また、ケルンの公共交通の分担率は、全体で 20%、都市で 30% であり、モータリゼーションの発展の中で比率は維持されていて、都市の中で重要な役割を担っている。

2. フライブルク (ドイツ)

この市は黒い森「シュバルツバルト」と呼ばれていて、人口やく 19 万人の典型的な地方都市である。そして、この都市においても自動車の数は増加しているが分担率は変わっていない。そこで、この都市の交通コンセプトは以下のとおりである。

- ・ LRT の維持
- ・ 格安な公共交通料金
- ・ 公共交通機関優先の信号への切り替え
- ・ 自動車網の拡張
- ・ 駐車場の有料化
- ・ 自動車交通を効率のいい幹線道路にまとめる

そこで、以上のことから公共「交通機関・自転車・自動車」が同じ分担率を担うことを目的としている。そのなかで、5 路線 38km が運営していて重要な役割を担っている。

他には、マンチェスター (イギリス)、グルノーブル (フランス) ロサンゼルス (アメリカ) などがあげられる。

4. ミニ地下鉄

近年、都市地下鉄の建設にとって大きな障害となっているのが建設費の増大である。都営新宿線では、239 億円 / k m という巨額の資金が投じられており建設費の圧縮というものが至上課題となっている。

	普通サイズ地下鉄	ミニ地下鉄
定員輸送力 (万人 / h)	3	1. 5
最大輸送力 (万人 / h)	8	3

表6 輸送力の違い

そこで、輸送力が普通の地下鉄よりも必要とされない路線では小さな車両、トンネル断面を用いたミニ地下鉄、特に車輪走行、リニアーマーター駆動の方式が採用された。この方式で建設された地下鉄路線としては

1990 年開業 大阪市営地下鉄 長堀鶴見緑地線 (大正～門真南)

2001 年全通 東京都交通局 大江戸線 (光が丘～都庁前～環状～都庁前)

などがあげられる。また、最近では福岡市、仙台市でもこのようなミニ地下鉄方式の新規路線開業が続いている。

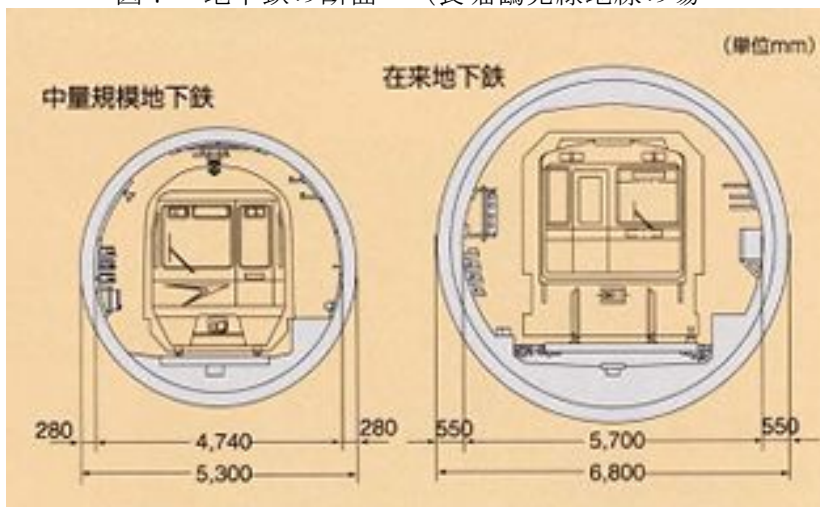
・ミニ地下鉄の規格

ミニ地下鉄は、車両の室内高さ 2100mm を確保しながらも車輪、モーター、床下機器を可能な限りコンパクトにまとめて下表のように掘削断面などを抑えている。

単位 : m	都営新宿線 (普通)	都営大江戸線 (ミニ)
車両 高さ	4. 1	3. 4
車両 幅	2. 8	2. 5
トンネル 内径	6. 2	4. 3
トンネル 外径	7. 3	5. 3
断面積	(100)	(48)

表7 通常地下鉄とミニ地下鉄

図7 地下鉄の断面 (長堀鶴見緑地線の場合)



また、建設コストの更なる圧縮を狙って最小径曲線 100m (JRでは、70 k m / h 以下の本線上で 160m)、最急勾配率 45‰ (普通では、25‰) の規格で作られており、これによってカーブによる民地への食い込みを最小限に抑えることができる。

・ミニ地下鉄のコスト

大江戸線、長堀鶴見緑地線ともに構造上軌道中心にリアクションプレートという鉄板を敷く必要があるため、その面では普通地下鉄と比べるとコストがかかるが、全工費で比較すると掘削断面の少ないミニ地下鉄に軍配があがる。

図 8 ミニ地下鉄の車体



前述の 2 路線とともにリニア駆動ミニ地下鉄方式を選択した神戸市営地下鉄海岸線では川崎重工に 60 億円で 4 両編成 10 編成（先頭車 8 両、中間車 32 両）を発注している。このことから、MT、c 付で差異はあれどもおよそ 1 両 1.5 億円ほどの価格と考えられる。

・建設費

現在建設されている路線は、すべてごく最近開通した路線であり既存路線よりも深い所を掘削する必要があった。

また、上下水、電気、ガスといったライフライン網、高速道路、ビルなどの杭基礎も避ける必要があったことから普通地下鉄と変わらない建設コストがかかっている。

路線名 (規格)	建設コスト (kmあたり億円)
都営 大江戸線 (ミニ)	292
大阪市営 長堀鶴見緑地線 (ミニ)	197
神戸市営 海岸線 (ミニ)	290
仙台市営 東西線 (ミニ) 未開通	190
福岡市営 空港線 (普通)	184
名古屋市営 桜通線 (普通)	271

表 8 地下鉄建設費の比較

・維持費

リニアミニ地下鉄に必要な支出としては車両維持管理費、保線、構造物営繕、動力費、光熱費、人件費、利子支払いなどがある。

支出項目	金額 (百万円)	kmあたり支出
支出	18,426	1,228.4
人件費	4,676	311.7
支払い利息	5,535	369
減価償却費	4,862	324.1
そのほか支出	3,355	223.7

表 9 維持費一覧

5. モノレール

1本の走行路の上にゴムタイヤの車両が跨座桁の上を走る方式の跨座式モノレールと軌道桁を走る台車から車体がぶら下がる方式の懸垂型モノレールがある。また、モノレールの導入区間は、角柱および円柱により構造物全体を支持する構造であるため、支柱は街路の中央分離帯に設置可能となり、用地専用面積は小さく、すべて立体交差である。そして、都市モノレール方により建設される路線は、インフラ補助の対象事業となる。なお、道路上空に導入する場合には一般部において25~30m、駅部において30~35mの道路幅員が必要になる。

図9 モノレール



・モノレールの歴史

1892年ドイツのブッペルタールにおいて本格的な懸垂型モノレール13.3kmが建設され、1901年から旅客輸送を行い、この間100年の歴史と無事故を誇っている。日本では戦後・都市への人口・産業集中が都市問題を惹起し、なかでも交通問題として交通渋滞・交通事故・交通公害など社会問題が発生した。そのため、これらの問題の解決のため方策としてモノレールが脚光を浴びるようになった。

・モノレールの利点と特徴

モノレールの位置付けとは地下鉄とバスの中間的機能持つものである。そして、交通渋滞の解消、道路空間の有効活用が可能である。

・導入実態

	東京モノレール	多摩都市モノレール	湘南モノレール	千葉都市モノレール	
	羽田線	多摩都市モノレール線	江の島線	1号線	2号線
延長(km)	16.9	16.1	6.6	3.2	12
駅数	9	19	8	5	13
システムの形式	跨座式	跨座式	懸垂式	懸垂式	
最小曲線半径(m)	120	100	50	50	50
最急勾配(%)	60	58	74	44	58
車両長(m)	15.2、16.4、16.6	14.6、15.5	13.4	14.8	
定員(人/両)	94~102	98~109	73、82	79	
編成両数(両)	6	4	3	2(一部4)	
表定速度(km/h)	44	27	29	20	30
一日当たり輸送人員(千人/人)	173	19	30	44	
着工(年月)	S38-5	H2-12	S43-6	H1-11	S57-1
開業(年月)	S39-9	H10-11	S45-3	H7-8	S63-3
事業費(億円)	891	1258	53	101	347
公共事業費(億円)	68	1163	-	304	810
km当たり建設費(億円)	57	149	8	127	96

	大阪高速鉄道		北九州高速鉄道
	大阪モノレール線	国際文化公園都市モノレール線	北九州モノレール小倉線
延長(km)	21.2	2.6	8.8
駅数	14	2	13
システムの形式	跨座式		跨座式
最小曲線半径(m)	100	122	80
最急勾配(%)	50	50	40
車両長(m)	14.6、15.5		93、103
定員(人/両)	94、103		13.9、14.8
編成両数(両)	4		4
表定速度(km/h)	35	29	27
一日当たり輸送人員(千人/人)	72		34
着工(年月)	S57-11	H6-3	S53-10
開業(年月)	H2-6	H10-10	S60-1
事業費(億円)	610	55	379
公共事業費(億円)	1571	227	437
km当たり建設費(億円)	100	108	93

表10 モノレール導入実態の比較

第3節 代替交通機関の導入

第3節では、第2節で検討した代替交通機関を第一節の仮想都市に導入する。

第1項 代替交通機関導入条件

また、代替交通機関の比較を判りやすく行うために導入条件は以下の条件に統一した。

●敷設する路線

図10 仮想都市の道路ネットワーク図

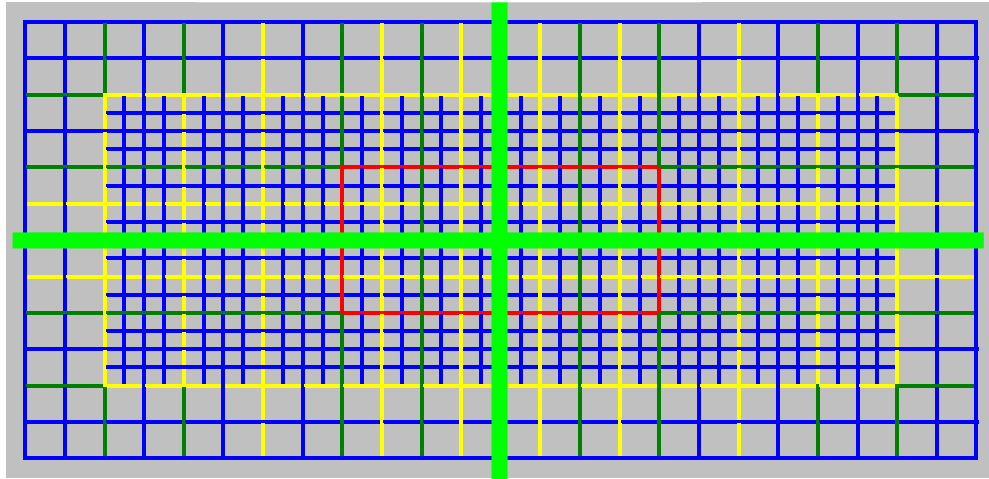


図10は、第1節で想定した仮想都市の道路網ネットワーク図である。各道路の断面構造は、第1章を参考にされたい。

緑太線で示した、ネットワークの中央を十字に横断する線が代替交通機関を導入する路線である。横方向12km、縦方向6km計18kmの路線を敷設した。

●駅間距離・駅勢圏

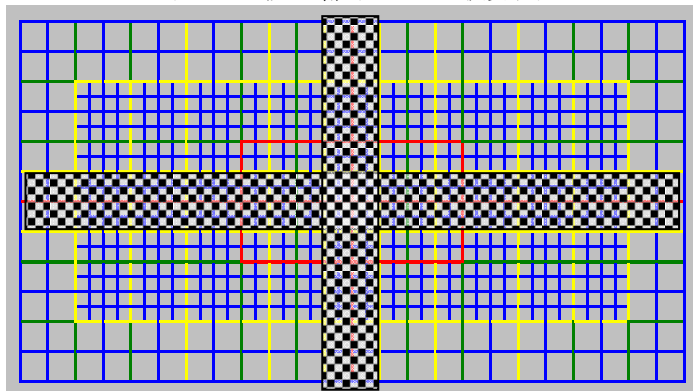
駅間距離は、各交通機関の実例を平均化し表11のとおりとした。

交通機関	駅間距離 (m)
ガイドウェイバス	650
LRT	400
新交通システム	700
ミニ地下鉄	700
モノレール	600

表11 平均駅間距離

駅勢圏とは、1つの駅が周辺の住民にどれくらいの距離まで利用されるかを定めるもので駅、バス停を中心として500mから1000mとなっている。都市内交通では、利便性また中量交通機関の規模からひとつの駅勢圏を500mとした。これより、路線を中心とした両側500mの住民が中量交通機関を利用するものと仮定している。図11のチェック帯が、想定する駅勢圏を示したものである。

図11 仮想都市の想定駅勢圏



●公共交通機関への転換率

駅勢圏内に住む住民の公共交通への転換率は、既存論文より4割というデータが算出されている。そこで、シミュレーション上では駅勢圏ゾーンから出発する車両数を0.6倍し、駅勢圏内の住民が4割公共交通に移行した状態を表現した。なお、JICA STARADAでは車1台で交通量を計算する仕様のため減少した自動車台数に平均乗車人数1.3人を乗じ算出している。表12は、年間シフト自動車、人数を表化したものである。

ゾーン内出発数	自動車数 (台)	人数換算 (人)
自動車交通のみ	55,409,302	72,032,093
中量交通導入	39,578,073	51,451,495

表12 年間シフト自動車・人数

第2項 代替交通機関の導入計算

第3項から各交通機関を導入するにあたっては

- ・建設費用
- ・建設時排出炭素量
- ・運営費用
- ・運営時排出炭素量
- ・営業係数
- ・経年炭素累計排出量

の項目を比較している。各項目の計算方法を示す。

●建設費用

中量交通機関の建設費用は、各交通機関の実データから1kmあたりの建設費用を算出し平均したものを用いた。

●建設時排出炭素量

日本建築学会論文にて、土木工事工種別工費あたりの二酸化炭素排出量を算出しているの、そこに先に求めた建設費用を乗じて二酸化炭素排出量を算出した。

さらに、国際的に用いられる標準的単位である炭素排出量に換算し使用する。

●運営費用

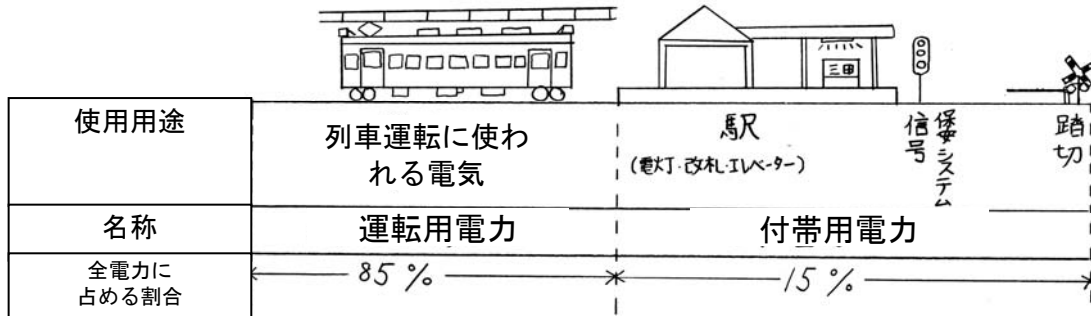
中量交通機関の運営費用は、各交通機関の実データから1kmあたりの運営費用を算出し平均したものに、営業距離を乗じて算出した。

●運営時排出炭素量

中量交通機関を運営するにあたっては図12のように

1. 車両の運転によって排出される二酸化炭素
 2. 駅改札照明、信号システムなどに必要な付帯電力消費によって排出される二酸化炭素
- 2種類の排出源があげられる。鉄道統計年報では、運転用電力及び油脂消費量が各交通機関路線で発表されているので、交通機関毎に平均値を取り、これに単位電力あたりの二酸化炭素排出量を乗じ運転時排出炭素量とし、全電力使用量の15%が標準的な鉄道付帯電力使用量であるから運転時電力消費量を85で割り15倍したものを付帯電力量とした。

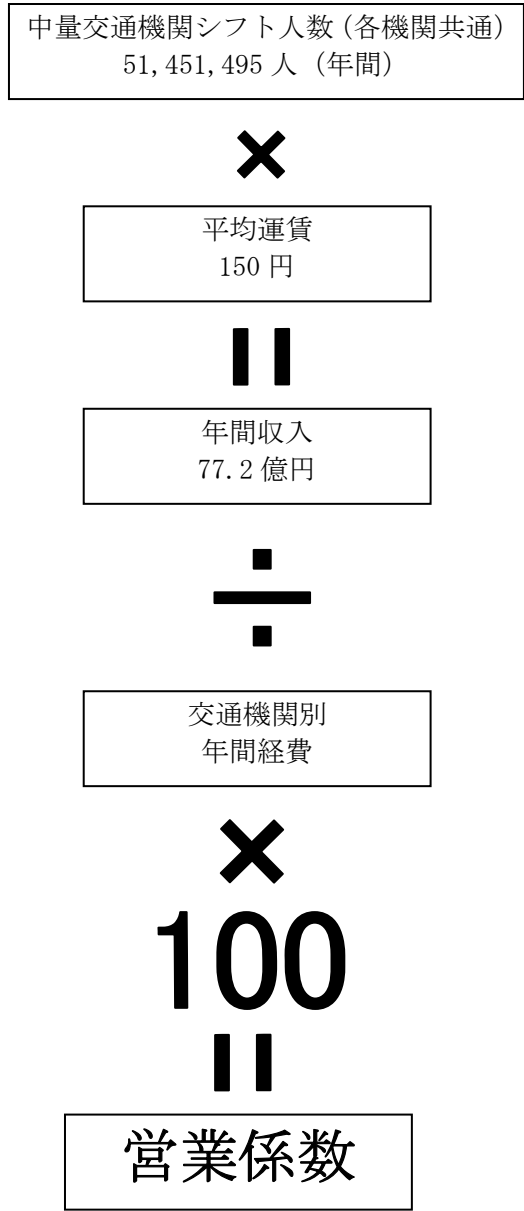
図12 使用電力内訳



●営業係数

営業係数とは、その交通機関が 100 円の収入を得るために必要なコストを示した係数のこと
 でこの数値が 100 より小さいほどその路線は採算性が高い事を示している。

仮想都市では、以下の流れで営業係数を算出している。



●経年炭素排出量

経年炭素排出量計算では、単年二酸化炭素排出量を算出し人口、自動車の数が変化しないと仮定した上で建設から 20 年間を比較した。

代替交通機関の単年二酸化炭素排出量は既に計算されている。一方、自動車が走る事によって排出される二酸化炭素は次のように計算する。

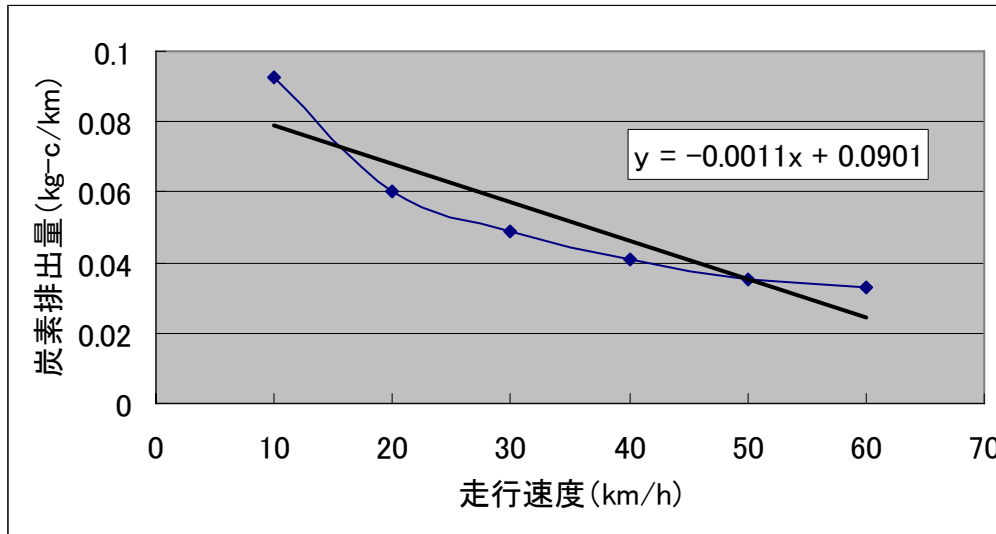
- ① ガソリン車における速度別の二酸化炭素量を把握し、その中の炭素量を炭素換算係数を用いて算出する。(表 13) その結果をグラフにし、近似式を求める。近似式は次のようになった。(図 13)

$$y = -0.0011x + 0.0901$$

走行速度(km/h)	二酸化炭素排出量(kg/km)	炭素排出量(kg-c/km)
10	0.34	0.09282
20	0.22	0.06006
30	0.18	0.04914
40	0.15	0.04095
50	0.13	0.03549
60	0.12	0.03276
70	0.12	0.03276

表 13 ガソリン車速度別二酸化炭素量

図 13 走行速度と炭素排出量の関係

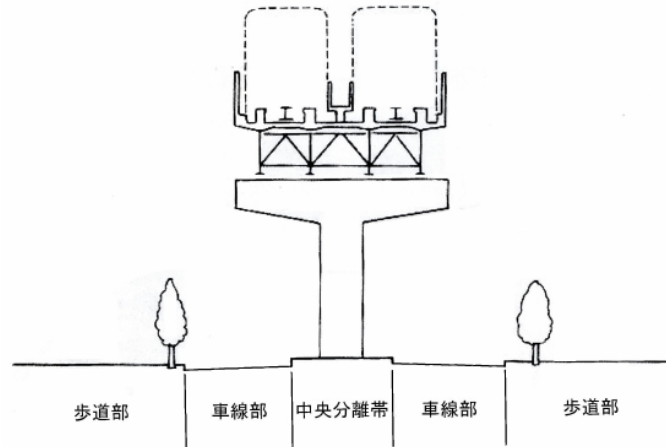


- ② 各リンクに発生・集中している交通量、走行速度、及びリンク長を把握する。
- ③ 近似式に各リンクの走行速度を入れ、1 台あたり 1 k m 走行することで発生する炭素排出量 (k g - c / 台 k m) を算出する。
- ④ 算出した炭素排出量 (k g - c / 台 k m) に交通量、リンク長をかけることで、各リンクにおいて発生した炭素排出量を算出する。
- ⑤ 各リンクに発生した炭素排出量を総和することにより、総炭素排出量を求めることが出来る。

第3項 代替交通機関ごとの導入計算

1. ガイドウェイバス

図 14 代替交通導入時の車線断面



中量交通を導入するにあたり現在存在する4車線のうち2車線にガイドウェイバスを走行させることとする。

・建設費コスト

58 億円/km×18km=1044 億円

・建設時排出 CO2

工事種別 CO2 排出量 (日本建築学会資料より)

鉄道軌道の場合 → 420.0 t-CO2/億円

よって、1044 億円×420.0=438480 t-CO2

これを、kg-c に変換する。

438480×0.273=119705040 となる。

・運営コスト

①総延長 18 km

②kmあたり営業費 (億円) 1.35

③年営業コスト (億円) 24.3

④収入 77.2

・運営時 CO2

ガイドウェイバスは電気ではなく、軽油にて運転をする。そこで運転用と付帯用を別々に排出量を計算していく。

①ガイドウェイバス運転時 CO2 排出量 0.618425kg-CO2/km

総年間消費軽油量 (km) 19917352

よって、0.618425kg-CO2/L×19917352L=12317388.41kg-CO2

これを kg-c に変換する。

12317388.41×0.273=3362647.036 となる。

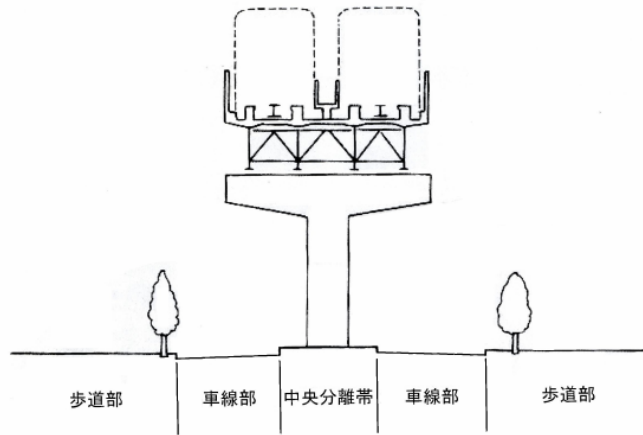
②付帯用電気量 (kw 時) 24067501

付帯用の炭素量 2444199.132 kg-c

③総炭素量 (kg-c) 5806846.168

2. 新交通システム

図 15 代替交通導入時の車線断面



中量交通を導入するにあたり現在存在する 4 車線の代わりに LRT を走行させることとする。

- **建設コスト**

90 億円/km×18km=1620 億円

- **建設時排出 CO2**

工事種別 CO2 排出量 (日本建築学会資料より)

鉄道軌道の場合 → 436.7 t-CO2/億円

よって、1620 億円×436.7=707454 t-CO2

これを、k g-c に変換する。

$707454 \times 0.273 = 193134942 \text{ k g-c}$

- **運営コスト**

①総延長 18 k m

②k mあたり営業費 (億円) 3.4

③年営業コスト (億円) 61.2

④収入 77.2

- **運営時 CO2**

①新交通運転用電気量 (k w時) 175348936

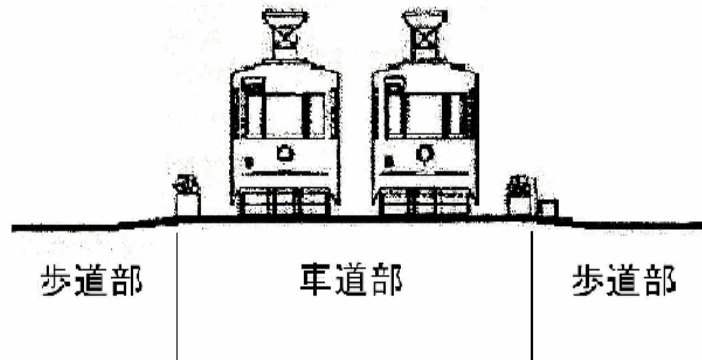
②付帯用電気量 (k w時) 24067501

③総電気量 (k w時) 199416437

④総炭素量 (k g-c) 20251935.711

3. LRT

図 16 代替交通導入時の車線断面



中量交通を導入するにあたり現存する 4 車線道路を廃止しその空間に LRT を走行させることとする。

• **建設費コスト**

30 億円/km×18km=540 億円

(京都市 LRT 導入検討資料より)

• **建設時排出 CO2**

工事種別 CO2 排出量 (日本建築学会資料より)

鉄道軌道の場合 → 436.7 t-CO2/億円

よって、540 億円×436.7=235818 t-CO2

これを、kg-c に変換する。

235818×0.273=643783147 kg-c となる。

• **運営コスト**

①総延長 18 km

② kmあたり営業費 (億円) 1.247

③年営業コスト (億円) 22.446

④収入 77.2

• **運営時 CO2**

①LRT 運転用電気量 (kw時) 63562140

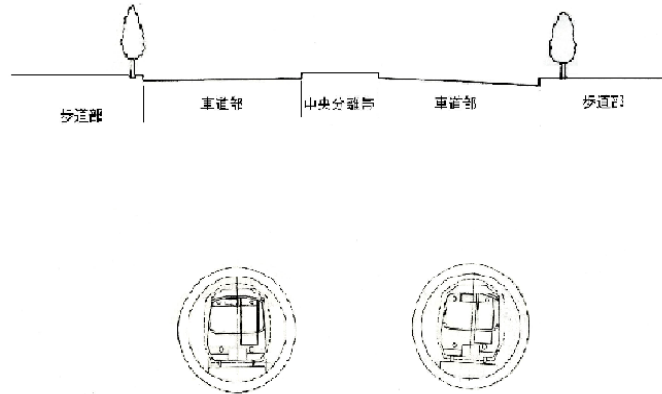
②付帯用電気量 (kw時) 11216848

③総電気量 (kw時) 74778988

④総炭素量 (kg-c) 7594254.929

4. ミニ地下鉄

図 17 代替交通導入時の車線断面



中量交通を導入するにあたり現在存在する 4 車線を維持し、その地下にミニ地下鉄を走行させる。

・建設コスト

200 億円/k m

・事業費

200 億円/k m × 18 k m = 3600 億円

・建設時排出 CO2

工事種別 CO2 排出量 (日本建築学会資料より)

鉄道軌道の場合 → 436.7 t - CO2/億円

よって、3600 億円 × 436.7 = 1572120 t - CO2

これを、k g - c に変換する。

1572120 × 0.273 = 429188760 k g - c

・運営コスト

① 総延長 18

② k m あたり営業費 (億円) 14.511

③ 年営業コスト (億円) 261.198

④ 年収 77.2

・運営時 CO2

① ミニ地下鉄運転用電気量 (k w 時) 1757370600

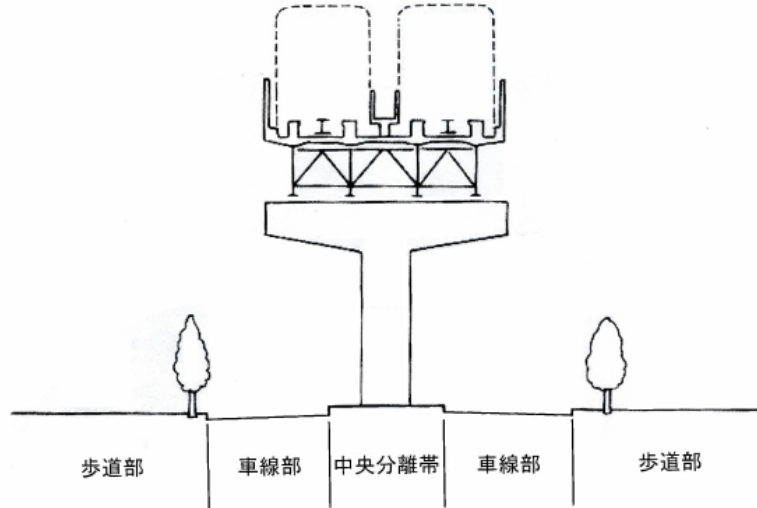
② 付帯用電気量 (k w 時) 82127196

③ 総電気量 (k w 時) 1839497796

④ 総炭素量 (k g - c) 186812038.171

5. モノレール

図 18 代替交通導入時の車線断面



中量交通を導入するにあたり現在存在する 4 車線の代わりに LRT を走行させることとする。

- **建設コスト**

120 億円/km

- **事業費**

120 億円/km × 18km = 2160 億円 (運輸政策機構)

- **建設時排出 CO₂**

工事種別 CO₂ 排出量 (日本建築学会資料より)

鉄道軌道の場合 → 436.7 t - CO₂/億円

よって、2160 億円 × 436.7 = 943272 t - CO₂

これを、k g - c に変換する。

943272 × 0.273 = 257513256 k m - c となる。

- **運営コスト**

① 総延長 18 k m

② k m あたり営業費 (億円) 3.3

③ 年営業コスト (億円) 59.4

④ 収入 77.2

- **運営時 CO₂**

① モノレール運転用電気量 (k w 時) 227534119

② 付帯用電気量 (k w 時) 40153080

③ 総電気量 (k w 時) 267687199

④ 総炭素量 (k g - c) 27185241.134

第4節 代替交通機関の比較

第3節3項において、代替交通機関の建設コスト、建設時二酸化炭素排出量、運営コスト、運営時二酸化炭素、営業係数を算出した。本項では、算出結果を用いて各代替交通機関を比較する。

1. 建設コスト

図13 Km当たり建設費

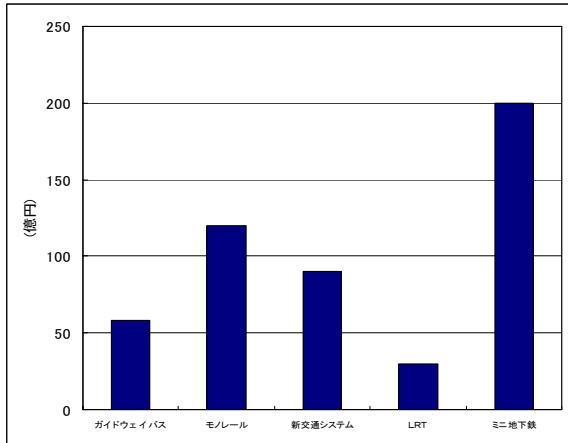
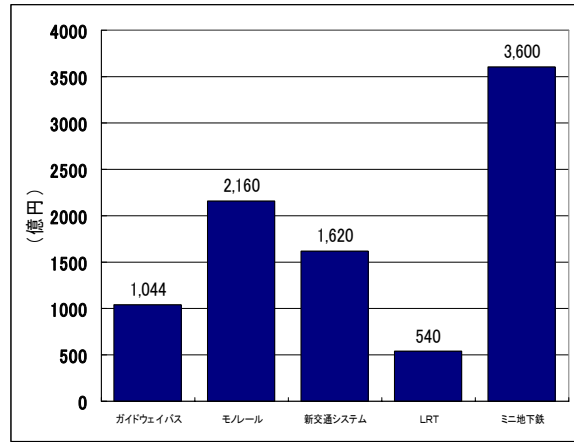


図14 建設費

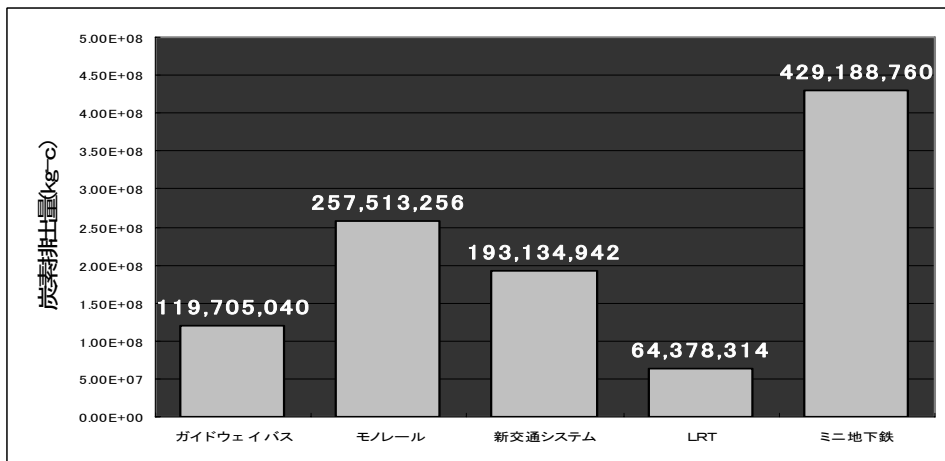


建設コストでは、土木工事が少なく既存の舗装路面が利用できるLRTが安価であり一方地下にトンネルを掘る必要のあるミニ地下鉄は非常に工費が大きくなっている。

建設コストにおいては、LRTが最も優位である。

2. 建設時炭素排出量

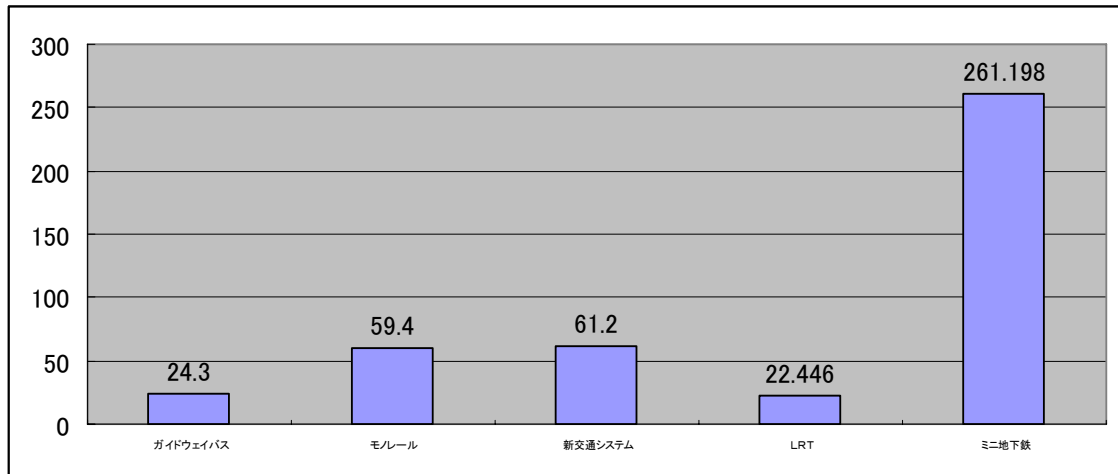
図15 建設時炭素排出量



建設時炭素排出量は、工費あたりから算出しているため工費の大きいミニ地下鉄の排出量が多く、一方LRTは工費が安いいため炭素排出量も抑えられている。

3. 運営コストによる比較

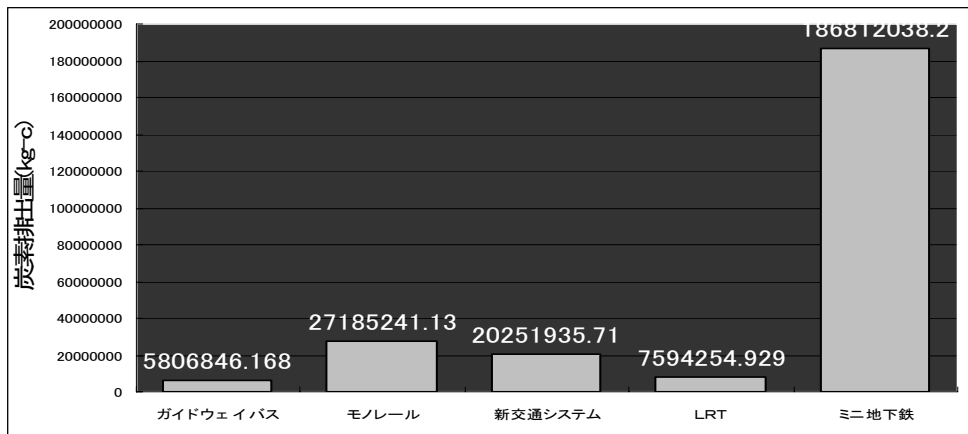
図 16 運営コスト



運営コストでは、地下のため照明、換気、エレベーターなど駅施設の維持費がかかるミニ地下鉄が一番多く、続いて高架のためエレベーター、エスカレーターが必要となるモノレール、新交通システムが多くなっている。比べて、エレベーターなど大規模な駅施設を必要としない LRT はコスト面でも優れている。

4. 運営による炭素排出量の比較

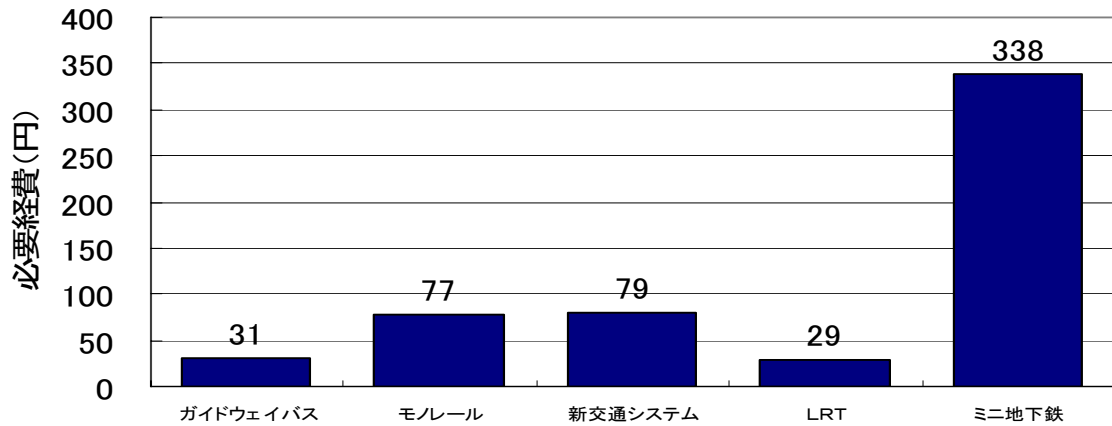
図 16 運営による炭素排出量



運営コストと同様、換気照明施設に多くの電力を使用するミニ地下鉄は炭素排出量も他の交通手段と比べて多くなっている。それに比べ、ガイドウェイバスは運転には電力を使用せず、またディーゼルエンジンも炭素排出量が少ないため LRT よりも炭素排出量が少なくなった。

5. 営業係数による比較

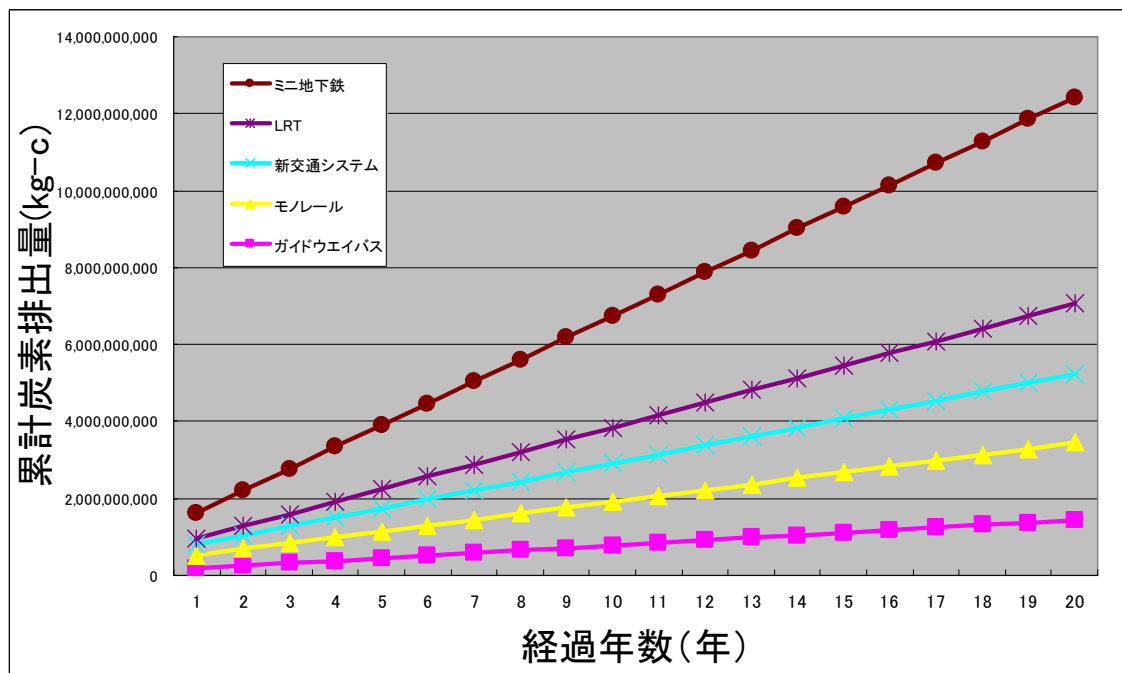
図 17 営業係数



年間収入額は、どの代替手段でも同じ 77.2 億円であるから年間運営経費の大きいミニ地下鉄では採算ラインを下回っている。ここで採算性を確保できているのは、ミニ地下鉄を除く 4 手段であった。

6. 経年炭素排出量による比較

図 18 20 年経年炭素排出量



20 年間の排出量の経過に注目すると、建設時、運営時ともに炭素排出量の大きいミニ地下鉄が格段、多量の炭素を排出してしまっている事がわかる。

一方、建設時、運営時炭素排出量が他の交通機関に比べても優れていたはずの LRT はミニ地下鉄に次いで炭素排出量が多くなっている。これは、交通量の多い仮想都市中心街路の自動車交通を廃して LRT を敷設したためで、交通渋滞が発生し自動車の走行速度が大幅に低下したためである。

第5節 総合評価

本節では、第4節で得た各比較項目に基づきこの仮想都市に環境的視点から見た代替交通手段を決定する。

交通手段 評価手段	ガイドウェイバス	新交通システム	ミニ地下鉄	LRT	モノレール
建設コスト	○	△	×	◎	△
建設時炭素排出量	○	△	×	○	△
運営コスト	○	○	×	○	○
運営時炭素排出量	◎	○	×	○	○
営業係数	○	○	×	○	○
経年排出量	○	○	×	△	△

比較表から、仮想都市に導入するのに適した交通機関は

- 1、LRT
- 2、ガイドウェイバス
- 3、新交通システム
- 4、モノレール
- 5、ミニ地下鉄

という結論に至った。

やはり、多額の資金が必要となるミニ地下鉄は多くの需要が見込める東京や大阪といった大都市でなければ環境的にも資金的にも難しい事がわかる。

また、LRTはその工事規模の小ささから環境負荷も資金面でも都市に導入しやすい交通機関といえるのではないだろうか。

第5章 まとめ

本研究では、環境的視点から見た自動車代替交通手段の選定法について建設時、運営時に排出される二酸化炭素量に着目した選定基準を加えるべきと提言した。

特に、環境的に優れていると考えがちな LRT が長期間の経過をみると優れているとはいえないことが確認され長期的な視点で検討する必要性も確認できた。

これから、都市内交通も自動車に依存するスタイルでは破綻する事が目に見えている。自動車交通に依存しない都市内交通ネットワークを作り上げていく必要があるのではないだろうか。

最後に、この論文を書くにあたり熱心に指導にあたってくださった都市計画研究室、岸井隆幸教授、大沢昌玄助手、暖かく見守ってくださった都市計画研究室大学院生の皆様に厚く御礼申し上げますとともに、論文を書き上げるに当たってご協力いただいた全ての方に御礼申し上げます本論文の結びとする。

参考文献

《先行論文》

- ・岸井研究室（2004）「土地利用と交通の関係から見た都市構造のあり方に関する研究」政策フォーラム 2004 発表論文
- ・岸井研究室（2005）「中量交通導入に関する研究」政策フォーラム 2005 発表論文
- ・韓佰舜（2003）「中量公共交通システムの都市内導入可能性に関する研究」修士論文
- ・ピエール・コプフ 岡本英徳「LRT 整備についてフランスの経験から何を学ぶか」
- ・加藤真紀 三浦秀一 外岡豊（2001）「土木工事の CO2 排出原単位から見た CO2 発生量の試算」日本建築学会東北市部平成 11 年研究報告
- ・加藤真紀 三浦修一 外岡豊（2001）「建築工事及び土木工事における CO2 排出量の地域特性に関する研究」日本建築学会東北市部研究発表会

《参考文献》

- ・天野光三 前田泰敬 三輪利英（2001）「第 2 版図説鉄道工学」丸善株式会社
- ・久保田博（1995）「鉄道工学ハンドブック」グランプリ出版
- ・吉川文夫（1990）「新交通システム」保育社
- ・望月真一（2001）「路面電車が街をつくる」鹿島出版
- ・岸井研究室勉強会（2005）「プロジェクトスタディのための都市設計資料集」
- ・立命館大学（1997）「立命館経営学」
- ・名古屋市「名古屋市における人の動き（事業者向け情報）」
<http://city.nagoya.jp/jigyou/kenchiku/gairo/chousa>
- ・国土交通省四国地方整備局徳島河川国道事務所「自動車の排出ガスと CO2 の関係」
http://www.toku-mlit.go.jp/road/01e_intro/co2/kankei.html
- ・京都市都市計画局交通政策室「新しい公共交通システム」
<http://www.city.kyoto.jp/tokei/trafficpolicy/lrt/index.html>
- ・東京都交通局「都営地下鉄の概要」<http://www.kotsu.metro.tokyo.jp/>
- ・EIC ネット「環境用語集 炭素換算」<http://www.eic.or.jp/>
- ・近畿日本鉄道株式会社「近鉄における環境問題への取り組みについて」
http://www.kintetsu.co.jp/kouhou/corporation/2005_kankyou/kankyou02.html
- ・交通エコモ財団「環境と運輸」<http://www.ecomo.or.jp/kankyo/menu.html>
- ・建設業部会・施工技術活性化分科会「建設工事における二酸化炭素 {CO2} 排出量の算定」部会報告
- ・竹中 e レポート 2006「CO2 排出量の推移」
http://www.takenaka.co.jp/enviro/e_report/2006/index.html
- ・株式会社大林組「建設施工段階の二酸化炭素排出量」
<http://www.obayashi.co.jp/news/index1.html>
- ・名古屋ガイドウェイバス株式会社「ゆとりーとライン」
<http://www.guideway.co.jp/>

《データ出典》

- ・国土交通省鉄道局（2004 年）「数字でみる鉄道」
- ・国土交通省鉄道局業務課（2005 年）「鉄道統計年報」