

B-55 交通需要の地域特性に適合した運輸部門の環境効率向上策とその普及促進策に関する研究  
(1) 輸送機関の環境効率評価と需要に適合した普及促進策に関する研究

独立行政法人国立環境研究所

PM2.5・DEP 研究プロジェクト 交通公害防止研究チーム

社会環境システム研究領域 資源管理研究室

名古屋大学大学院 環境学研究科

慶應義塾大学 環境情報学部

近藤美則、松橋啓介、工藤祐揮

森口祐一

林 良嗣、加藤博和

清水 浩

平成12-14年度合計予算額 35,839千円

(うち平成14年度予算額 10,668千円)

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| 1. はじめに.....                                  | 10 |
| 2. 研究目的.....                                  | 10 |
| 3. 研究方法と結果、考察.....                            | 11 |
| 3. 1 輸送機関の環境効率評価.....                         | 11 |
| (1) 分析の概要.....                                | 11 |
| (2) 引用文献の分析の特徴と評価項目.....                      | 11 |
| (3) 自動車用燃料供給パスの設定.....                        | 11 |
| (4) 各エネルギー変換プロセスにおけるエネルギー効率・温室効果ガス排出量の定義..... | 12 |
| (5) Well to Wheel analysis 用データベースの作成.....    | 15 |
| (6) Well to wheel analysis ツールの作成.....        | 15 |
| (7) 分析結果.....                                 | 15 |
| (8) 効率評価のまとめ.....                             | 20 |
| 3. 2 地域特性と交通エネルギーの関係の解析.....                  | 20 |
| (1) 交通手段と交通エネルギーの関係.....                      | 20 |
| (2) 低環境負荷型都市の土地利用－交通体系.....                   | 21 |
| (3) 停留所と徒歩容易圏.....                            | 21 |
| 3. 3 需要に適合した輸送機関の技術評価.....                    | 22 |
| (1) 研究の背景.....                                | 22 |
| (2) 検討した輸送機関の概要.....                          | 22 |
| 3. 4 ELCEL<拡張ライフサイクル環境負荷>.....                | 24 |
| (1) 研究の概要.....                                | 24 |
| (2) 交通インフラにおける LCA －ELCEL：拡張ライフサイクル環境負荷.....  | 24 |
| (3) 都市内鉄軌道整備による CO2 排出量変化の評価手法.....           | 26 |
| (4) 都市間高速鉄道整備による CO2 排出量変化の評価手法.....          | 32 |
| 4. 本研究により得られた成果.....                          | 36 |
| 5. 引用文献.....                                  | 36 |
| 6. 国際共同研究等の状況.....                            | 37 |
| 7. 研究成果の発表状況.....                             | 37 |
| 8. 成果の政策的な寄与・貢献について.....                      | 38 |

## [要旨]

車両の駆動方式毎に利用可能なエネルギー源の種類とその生産・輸送プロセスについての関連図に基づき、各プロセスにおける入出力データを収集・整理し、各種 1 次エネルギーを起源とする石油代替燃料車を含めた車両の駆動方式までのエネルギーチェーンサイクルについて効率の評価（Well to wheel 分析）を行った。また、地域特性の異なる類型ごとに施策の効果を明らかにするため、日本においては市区町村別目的別手段別エネルギー消費量を推計するとともに、交通需要など交通機関の利用状況に関するパラメータがライフサイクル環境負荷に与える影響を分析できる手法を開発し、海外の事例として(a)ドイツにおける交通施策と土地利用施策に関する聞き取り調査の結果を整理し、(b)アジア諸国のなかでも経済発展が著しく、それに伴い自動車数が急激に増えている中国を対象とし、北京における交通量の調査、需要に適合した公共交通システムの形態と可能性について検討を行った。一方、都市構造の類型や交通網整備状況の違いが、交通需要・交通状況を通して交通起源環境負荷に及ぼす影響メカニズムを定量的に推計するための標準的手法の開発を行った。具体的には、ライフサイクルアセスメントの考え方をを用いて、交通機関の整備と供用という両局面の環境負荷を評価しつつ、交通機関の利用状況に関するパラメータがライフサイクル環境負荷に与える影響を分析できる手法の概念（ELCEL＜拡張ライフサイクル環境負荷＞）を構築した。

【キーワード】 Well to wheel 分析、地域特性、交通需要、拡張ライフサイクル環境負荷

## 1. はじめに

1997 年 12 月に京都で行われた気候変動防止枠組条約第 3 回締約国会議において、2008 年から 2012 年までの平均の排出量として日本は、1990 年比で温室効果ガスの 6 %削減が定められた。日本の 1999 年のエネルギー消費量を 1990 年比でみると、全体の伸びが約 15%であるのに対して、産業部門が約 7 %、民生、交通部門は各約 23%、約 25%の伸びである。

わが国の運輸部門からの二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）排出量は、総排出量の 2 割を占め、他の部門とは異なり一貫して増加を続けている。また、アジア諸国をはじめとする発展途上国においても、モータリゼーションの急速な進展により、運輸部門の排出が急増傾向にある。CO<sub>2</sub> 排出量の削減目標達成のためには、運輸部門からの排出の 8～9 割を占める自動車からの排出削減が不可欠である。このためには、わが国の優れたエネルギー効率の自動車技術や公共交通システム技術を交通需要の地域特性にあわせて内外に適用することが望まれるが、排出削減目標の達成期限や国際的枠組み適用に関する検討状況を勘案すれば、短期間に効率の高い技術を内外で大量に普及促進させるための社会・経済的支援策を併せて検討することが緊急課題と考えられる。

## 2. 研究目的

本研究では、輸送機関の直接利用時の環境負荷とともにエネルギー資源の生産から供給までの環境負荷をも対象とするエネルギーチェーンサイクル評価を行うための、エネルギー供給から利用に至る経路と車両の駆動方式についてのデータ収集及びデータベース化を行う。また、日本国内のほかアジア諸国の大都市も含め、交通需要の地域特性の異なる類型ごとに、公共交通システム整備、高効率車への代替促進などの施策について、費用と効果とを明らかにする。また輸送機関の新規整備に伴う環境負荷変化効果を定量的に推計するために、従来の LCA（ライフサイクルアセスメント）における評

価範囲を交通システム全体への波及効果まで広げた「ELCEL<拡張ライフサイクル環境負荷>」の概念を提示し、それに従った輸送システムの環境面からの評価の方法論を示すことを目的とする。その際、輸送機関の利用状況に関する諸変数を分析可能とすることで、これらによる感度分析が可能となるようにする。なお、輸送機関整備の計画段階では具体的なデータが得られないことを考慮して、標準的な原単位を整備し利用することによる LCA の簡略化手法と原単位を示す。

### 3. 研究方法と結果、考察

#### 3.1 輸送機関の環境効率評価

##### (1) 分析の概要

自動車を直接利用する際の環境負荷と、その利用のために必要なエネルギー資源の生産から供給までの環境負荷を LCA 的な観点から評価する際には、いわゆるエネルギーチェーンサイクル全体に及ぶエネルギー効率、環境負荷評価が必要である。この評価手法は自動車関連分野では Well to wheel 分析と呼ばれ、近年日本のみならず欧米での評価例が数多く公表されている。しかしこれら評価結果は多分に自動車技術や、自動車用燃料を供給する地域の社会的・地理的要因に大きく依存するために各種の前提条件が異なり、更に定義が不統一であるためにその解釈には注意を必要とする。

本研究では最新の情報を文献調査等により適宜収集し、各種自動車用燃料、車両の駆動方式ごとにエネルギーチェーンにおけるプロセスについての関連図を詳細に作成した。それに基づき、世界をエネルギー資源の多少、自動車需要の大小により 4 つの地域に分割した上で、各地域に供給される各種自動車用燃料のエネルギー変換プロセスにおけるエネルギー効率、GHG (温室効果ガス) 排出量を統一された定義の元に収集、算出し、データベース化を図ると共に、データベースのハンドリングを容易に行うためのソフトウェアの開発を行った。またこのソフトウェアを用い、化石燃料、自然エネルギー等を起源とする車両の駆動方式までのフローについて、エネルギー効率の評価を行った。

##### (2) 引用文献の分析の特徴と評価項目

本研究を進めるにあたり、引用した文献における分析の特徴と評価項目を表 1 に示す。

##### (3) 自動車用燃料供給パスの設定

収集した各種文献を元に、想定され得る各種自動車及び各種自動車用燃料の供給パスを選択した(図 1)。燃料供給パスは各文献によって枠組みが異なるため、図 1 ではそれらを統一して同一の軸で評価できるようにパスを設定した。図 1 では、井戸元で生産された各種一次エネルギー源が自動車のタンクに燃料として供給されるまでのパスを、表 2 に示した 5 つのプロセスに大分してある。各プロセス間には更に詳細なエネルギー変換プロセスが含まれ(付図 1~6 参照)、自動車に搭載された各種燃料は(付図 7 参照)に示す各種パワートレインを有する自動車に投入される。また自動車のエネルギー消費、環境排出物は、図 1 に示した各燃料供給パス、すなわち、走行時からの排出だけでなく、車両製造時からも消費・排出される。そこで車両製造時からの排出も含め、LCA の観点から各種自動車からのエネルギー消費・環境排出物を総合的に評価できるよう、車両製造プロセスを追加した。

表1 引用文献の分析の特徴と評価項目

| 文献 | 分析の特徴と評価項目                                                                                                 |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1) | Well to wheel analysis を行うにあたっての留意点が明記。エネルギー効率の評価（インフラ建設含まず）。                                              |
| 2) | 日本における自動車用燃料の供給パスをほぼ網羅。エネルギー効率、CO2 排出量の評価（インフラ建設含まず）。                                                      |
| 3) | 発電所における CO2 排出量を、インフラ建設なども含め算出。掲載されているデータを用いて、Primary Stock から Intermediate Energy までの各変換プロセスのエネルギー効率を算出可。 |
| 4) | 石炭、石油、LPG、LNG のライフサイクル CO2 インベントリー分析。掲載されているデータを用いて、各変換プロセスのエネルギー効率を算出可。                                   |
| 5) | Well to wheel analysis の草分け的存在。北アメリカ対象。エネルギー効率、GHG 排出量の評価（インフラ建設含まず）。                                      |
| 6) | 文献5)の EU 版。ほぼすべての Well to wheel パスを網羅。他の文献との比較も豊富。エネルギー効率、GHG 排出量の評価（インフラ建設含まず）。                           |
| 7) | 天然ガス、バイオマス起源の Well to wheel パスの分析が中心。特に Tank to wheel については多岐に渡るパワートレインを対象としている。エネルギー効率の評価（インフラ建設含まず）。     |

なお、Well to wheel 分析においては、エネルギー供給パスを途中の搭載燃料（tank）の段階で 2 つに分けることも多く、tank よりも上流を Well to tank、tank から下流を Tank to wheel と呼ぶ。前者はインフラに関わるパスで、社会的・地理的要因などの前提条件に依存し、後者は地域差はないが極めて技術進歩の早い自動車技術に依存する。

表2 本研究における用語の定義

|                     |                            |
|---------------------|----------------------------|
| Primary Stock       | 1 次エネルギー                   |
| Energy Carrier      | 自動車需要地に輸送される各種エネルギー輸送媒体    |
| Intermediate Energy | 輸送媒体が自動車用燃料に変換される間の中間エネルギー |
| Energy Source       | 自動車用エネルギー                  |
| Energy Storage      | 自動車に搭載されるエネルギー貯蔵装置の形態      |

#### （４）各エネルギー変換プロセスにおけるエネルギー効率・温室効果ガス排出量の定義

##### a) エネルギー含有量の定義

各種燃料の持つ化学的エネルギーの定義には、真発熱量(LHV)、総発熱量(HHV)が混在する。燃焼機関は動作温度が高く、水蒸気の潜熱回収は困難であるために LHV を用いるのが一般的であるが、日本の総合エネルギー統計などは HHV を基本とする。同一燃料からのパスの比較では最終的な出力が等価であれば問題はないが、各エネルギー変換プロセスの議論では LHV と HHV の比の差が影響し、特に水素燃料はその比が大きいために注意が必要となる。本研究では自動車の慣例にならい、引用文献のう

ち HHV をベースとしているものについては LHV ベースに換算してエネルギー効率・温室効果ガス排出量を算定した。

b) エネルギー効率・温室効果ガス排出量の定義

エネルギー効率としては、自動車代替燃料の検討において理解が容易である熱効率(Thermal efficiency)を指標として用いた。Thermal efficiency は、各プロセスの生産物が持つエネルギー（燃焼熱）を分母に、そのプロセスに投入された原料の持つエネルギー（燃焼熱）とそのプロセスにおいて消費されたエネルギーの和を分子として、エネルギー効率を表す指標と定義されている。

また各プロセスからの温室効果ガス排出量は、該当するプロセスから大気中に放出される温室効果ガスと定義する。

Well to wheel 効率  $\eta$  および GHG 排出量  $E$  は、エネルギー変換プロセス  $i$  における Thermal efficiency を  $\eta_i$ 、GHG 排出量を  $e_i$  として

$$\eta = \prod_i \eta_i \quad (1)$$

$$E = \sum_i e_i \quad (2)$$

とそれぞれ表せる。

c) 自動車の効率の考え方

エネルギー変換器の効率は入出力エネルギー含有量の比で定義され、自動車エンジンなど熱機関の効率も、消費燃料の入力エネルギーに対する機械的出力エネルギーの比で定義される。しかし、自動車として評価すべき本来の機能出力はエンジン出力ではなく輸送能力であり、その効率として機能出力をエネルギー量で表現する必要がある。内燃機関エンジン車どうしの比較では、自動車を駆動するエンジンの効率差がそのまま同一機能に対するエネルギー利用上の効率差を示すため、エンジン効率で機能出力が表され则认为されてきたが、電気自動車や燃料電池車などを対象とする場合には、自動車の機械出力と機能出力には以下の乖離が存在する。

- EV（電気自動車）、HEV（ハイブリッド自動車）など電気駆動系では回生制動が可能であるため、上記の入出力エネルギー比では回生時に出力エネルギーが負となり、その効果が相殺されて評価されない。
- 例えば EV の電池重量増加は、ユーザの受ける機能と無縁であるが機械エネルギー出力は増加して効率には差が出ないため、機能と関係のない部分の出力が評価されることとなる。

これらの問題を考慮すると、単純に同一機能の自動車で同一走行条件に必要な燃料（エネルギー）消費量、すなわち、一般的な燃費で評価する方が本来の趣旨を示すといえる。また Well to wheel analysis を考える場合には、使用端の自動車にも効率が定義されると理解しやすい。そこで、まず対象とする車の燃費を出してこれと等価な 内燃機関自動車 (ICE 車) の燃費との相対比を取り、その ICE 車のエンジン効率にその比を乗じた数値をその車両の効率と呼ぶことが多い。すなわち、ICE 車の等価効率で定義されるが、実際には燃費比較から得られる数値である。



### (5) Well to Wheel analysis 用データベースの作成

Well to wheel analysisを行うにあたっては、信頼性の高いデータの収集分析が必要であると同時に、公表されたデータで、その背景、前提条件が明確であることが重要である。

表2に記したように、文献6)は想定され得る Well to wheel パスのほぼすべてを網羅している一方で、不十分な情報が含まれているエネルギー変換プロセスも存在する。例えば、あるプロセスに投入されるエネルギーが1次エネルギーまで遡って評価されたかどうか、などである。本研究の趣旨では1次エネルギーまで遡ってそのプロセスに投入された全1次換算エネルギーで評価すべきであるが、種別とその形態が不明であるために検証することが不可能である。従って Well to wheel analysis 用データベースの作成にあたっては、各引用文献に含まれるエネルギー変換プロセスの入出力データが明らかなものだけを採用した。

### (6) Well to wheel analysis ツールの作成

Well to wheel 分析を行うにあたり、図1に示した多岐に渡るすべての Well to wheel パスに含まれる各エネルギー変換プロセスのエネルギー効率および GHG 排出量は、想定されている技術や対象としている地域の社会的・地理的要因によって値が異なるため、これらデータを用いて解析を進めることは非常に困難である。文献6)、7)ではこれらデータのハンドリングを容易にかつ明示的にするために、ユーザインタフェースを備えた解析ツールの開発も併せて行っており、特に文献6)の解析ツール(GREETモデル)はインターネット上で不特定多数のユーザに配布されている。しかし、GREETモデルで想定されている Well to wheel パスは文献7)と比べると少なく、また必ずしも使いやすいモデルであるとは言えない。

そこで本研究では、Well to wheel 分析を意図するユーザが、図1～図8の Well to wheel パスの枠組に従って各エネルギー変換プロセスのデータベースを構築すれば、分析対象とする地域や Well to wheel パスの各エネルギー変換プロセスにおけるエネルギー効率および GHG 排出量の違いが Well to wheel 効率および GHG 排出量に与える影響を容易に解析できるようなツール(環境効率解析ツール)の開発を行った。環境効率解析ツールの詳細については、付録2を参照されたい。

### (7) 分析結果

環境効率解析ツールを用いて分析を行った結果の一例を以下に示す。GHG 排出量については Primary Stock から Energy Storage に至るすべてのエネルギー変換プロセスの GHG 排出量が不明なもの、また明らかになっているプロセスについても前提条件が不透明であるものも多いため、ここでは Well to tank、Well to wheel の分析を行うために最低限必要なデータがそろったエネルギー効率の分析結果のみを取り上げる。

#### (a) Well to tank 効率

図2～図4に、日本、北アメリカ、欧州における Well to tank 効率の上限値と下限値一覧を示す。

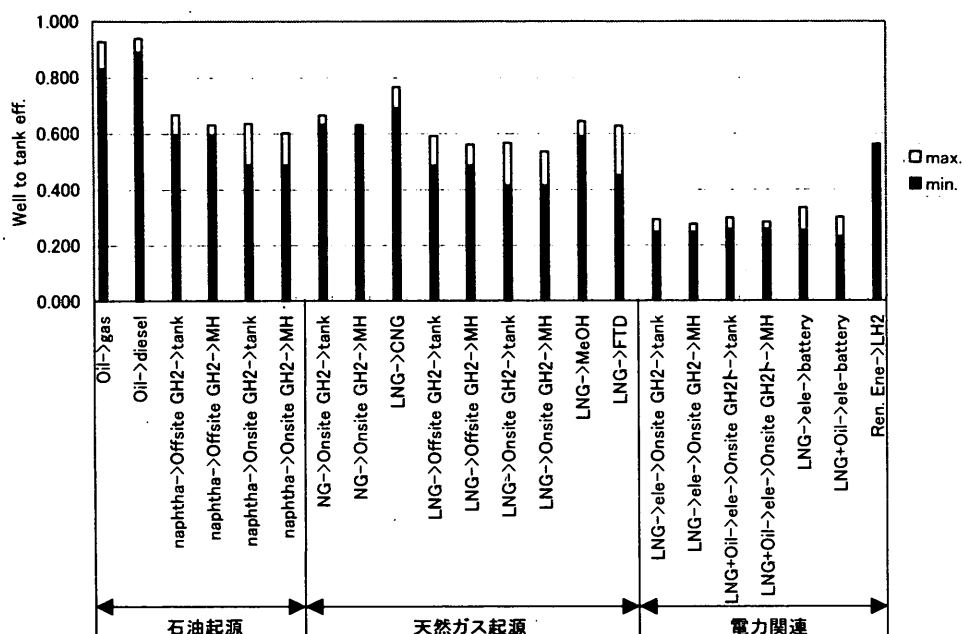


図2 日本における Well to tank 効率

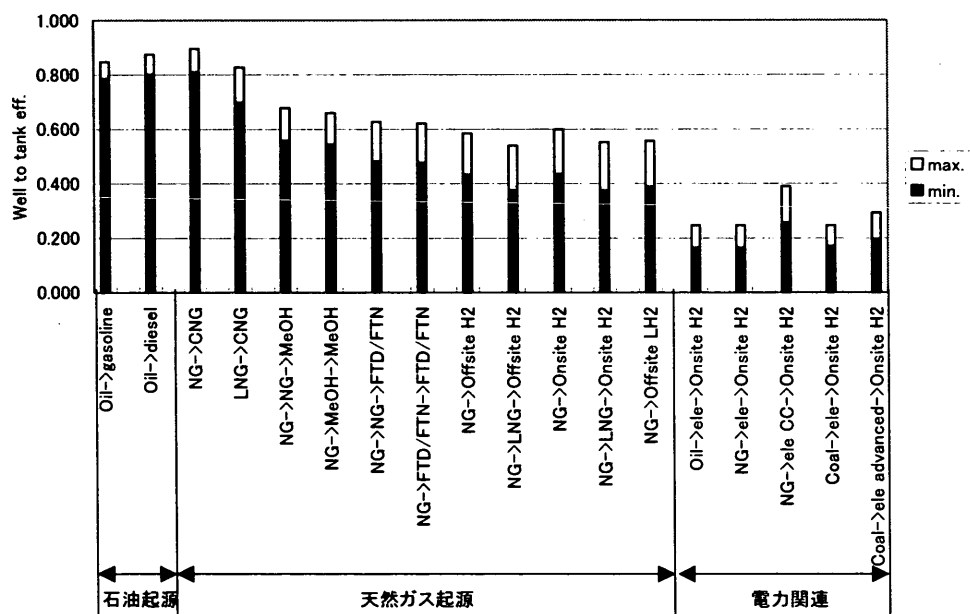


図3 北米における Well to tank 効率



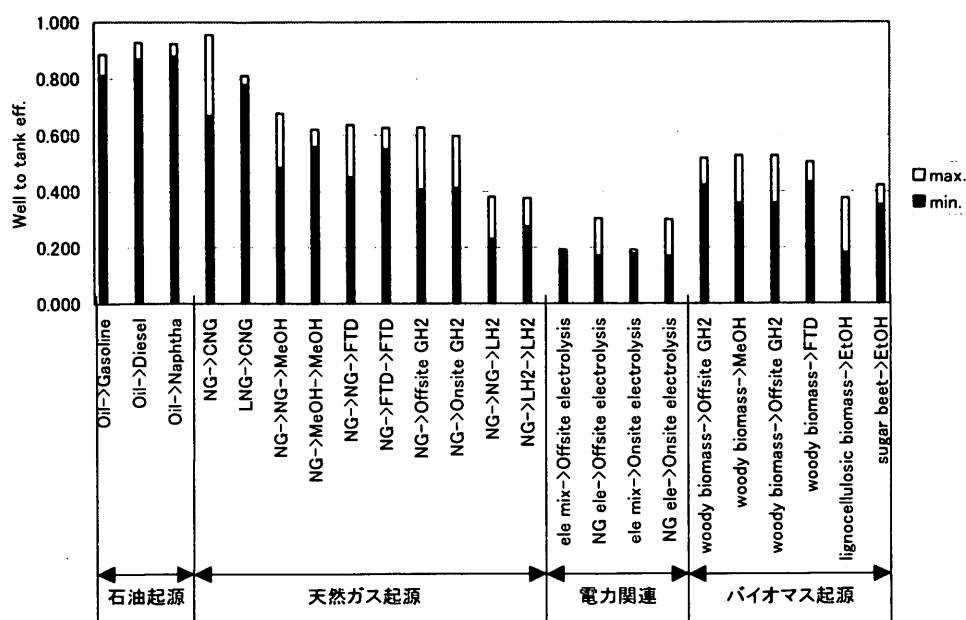


図4 欧州における Well to tank 効率

図2～図4から、Well to tank 段階においては以下の示唆が得られる。

- 従来型自動車用燃料（ガソリン、軽油）の効率は地域を問わず Well to tank 効率は高い。
- 天然ガスをパイプライン輸送できる地域においては、CNG の効率が高くなる。しかし、天然ガスの採掘地における採掘施設および採掘地から需要地までの輸送距離によってはこの効率は大きく低下し、従来型燃料よりも効率が低下する可能性がある。
- メタノール、FT ディーゼルは、条件によっては水素燃料よりも効率は高くなる。
- 自動車のタンクに充填された水素は、供給されたパスによっては他の自動車用燃料よりも効率が低くなる場合がある。またタンクに充填される形態（高圧ボンベまたは水素吸蔵合金）による差異はほとんどない。
- 環境効率解析ツールを用いて分析可能な範囲においては、パスの途中で電力が入るものについては発電効率の影響により最も効率が低くなる。一方、海外において再生可能エネルギーを用いて液化水素を生成するパスについては、比較的高い効率が期待できる。
- バイオマスエネルギーは、日本においてはそのポテンシャルが低いために検討が行われることが少ないが、海外においては電力が入るパスよりも高い効率が得られている。

#### (b) Well to wheel 効率

図5～図8に、日本、北アメリカ、欧州における Well to wheel 効率の上限値と下限値一覧を示す。ここでは、図2～図4までの各 Well to tank パスを Energy Source ごとに統合した上で、各車両の Tank to wheel 効率を乗じることにより Well to wheel 効率を算定した。

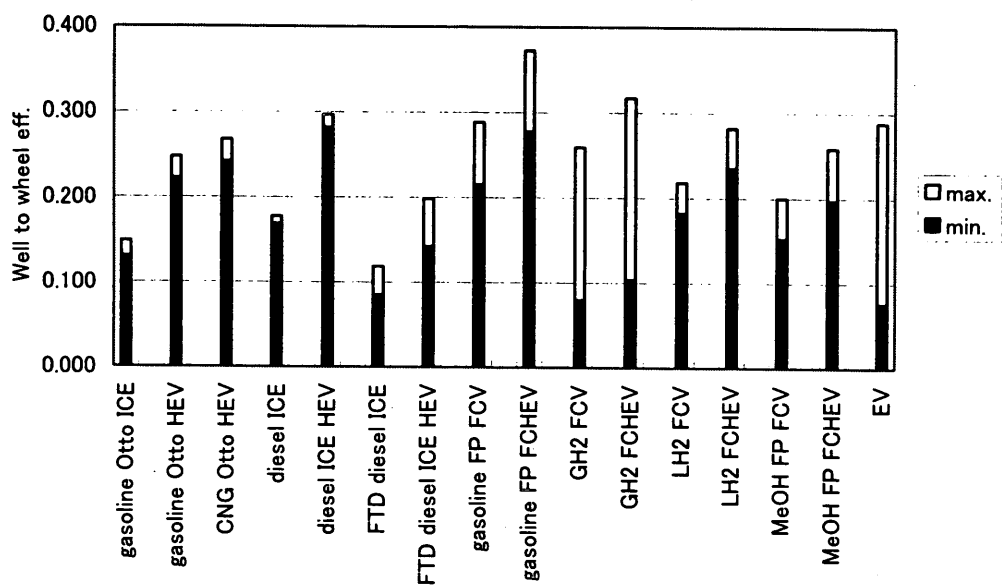


図5 日本における Well to wheel 効率

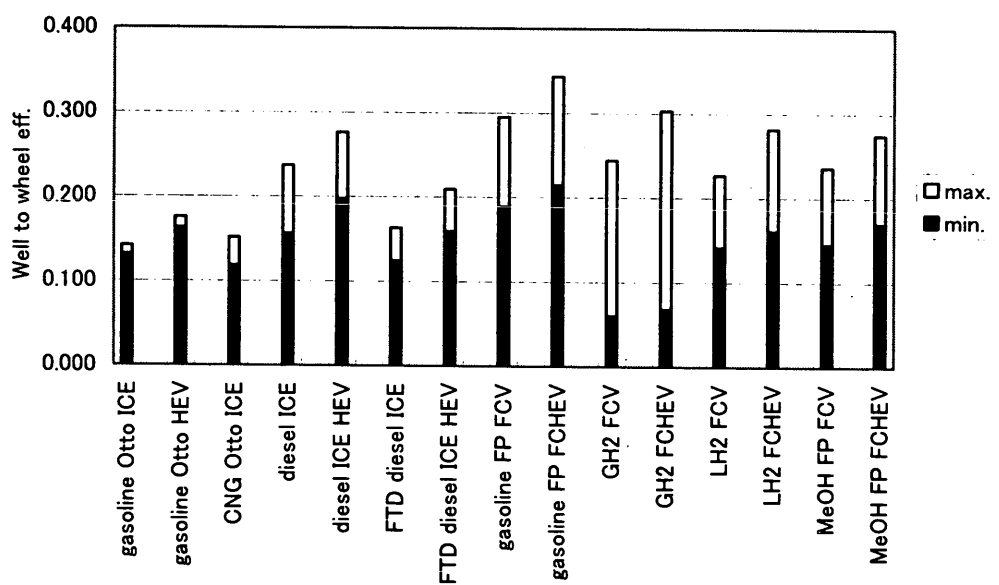


図6 北米における Well to wheel 効率

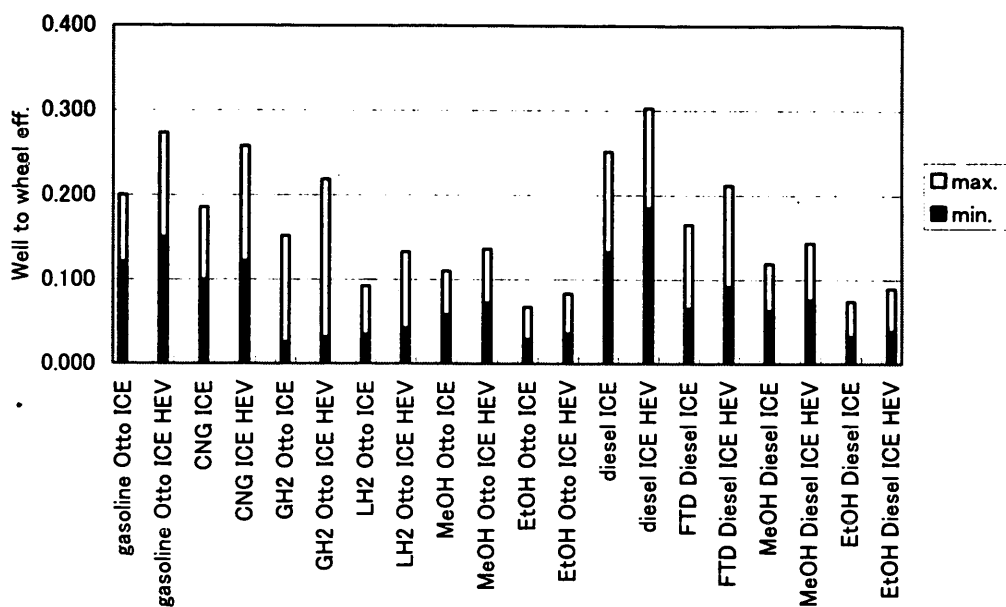


図7 EUにおけるWell to wheel 効率1

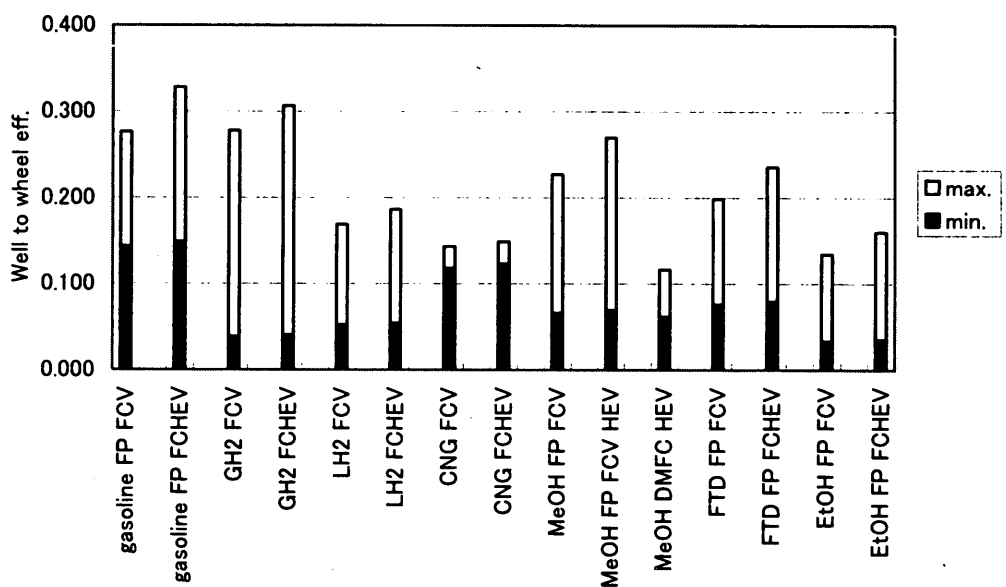


図8 EUにおけるWell to wheel 効率2

図5～図8から得られる示唆をまとめると以下のようになる。

- 従来型自動車用燃料の Well to tank 段階における効率の優位性は、Tank to wheel 段階における ICE 車の効率低下により失われるが、ディーゼルサイクル HEV については他の車種よりも高い効率が期待できる。またガソリン車載改質器 FCV (燃料電池車)・FCHEV (ハイブリッド燃料電池車) の Well to wheel 効率は、どの地域においても一番高くなるが、これは多分に車載改質器の効率

に依存する。

- 非従来型自動車用燃料を ICE 車に投入すると、Tank to wheel 効率の低さから Well to tank 効率の優位性が失われる。
- 純水素 FCEV・FCHEV は、Tank to wheel 効率の高さと Well to wheel 効率の低さが相殺され、高い Well to wheel 効率が期待できるが、選択する Well to wheel パスによっては ICE 車よりも低くなる可能性がある。
- メタノール車載改質器型 FCEV・FCHEV は、車載改質器の効率のために純水素 FCEV・FCHEV よりも低くなる可能性がある。

#### (8) 効率評価のまとめ

想定される技術や、対象とする地域の社会的・地理的要因に大きく依存する自動車の Well to wheel 分析のための基礎データを文献調査により収集・算定するとともに、非常に多岐に渡る Well to wheel パスに含まれる各エネルギー変換プロセスでのエネルギー効率、GHG 排出量データのハンドリングと、Well to wheel 分析を容易に行うための環境効率解析ツールを構築し、日本、北米、欧州における Well to wheel 分析を行った。その結果、(a)純水素 FCV・FCHEV は高い Well to wheel 効率を期待できること、(b) ICE 車の Well to wheel 効率は、Well to tank 段階での効率の高さが Tank to wheel 段階の効率の低さに相殺されてしまうが、(c)ガソリン車載改質型 FCEV・FCHEV は車載改質器の性能次第であるが、最も高い効率が期待できる可能性がある、との示唆を得ることができた。解析結果は他の文献と比較して目新しくはないが、各文献における計算値を同一の前提条件下で再評価できるツールとして、本ツールは意義がある。これらは他の文献での結果と比較して目新しい結果ではないが、本研究での検討でも従来からの定性的な議論を確認できたと考えられる。

図 2～図 8 で各燃料供給パスのエネルギー効率の上限値、下限値を示したように、Well to wheel 分析においてはそれぞれのエネルギー供給パスに複数のエネルギー変換プロセスが含まれるため、各エネルギー変換プロセスにおけるエネルギー効率の差が積算され、評価結果が逆転する可能性がある。また本研究ではデータの関係エネルギー効率だけを評価対象としたが、環境負荷低減のため地域に適したエネルギー供給パスと自動車の種類を検討する際には、GHG 排出量とともに NO<sub>x</sub>、PM などの大気汚染物質も含めた総合的な検討が必要となる。ここで構築した環境効率解析ツールはエネルギー効率と GHG 排出量だけを対象としているが、想定した Well to wheel パスに含まれるエネルギー変換プロセスのデータがそろえば、大気汚染物質の評価にも拡張可能である。地域に適合した自動車用燃料および自動車の選択をより精緻かつ包括的な分析を行うためには、引き続き最新の文献調査などによってデータベースを拡充させる必要がある。

### 3. 2 地域特性と交通エネルギーの関係の解析

#### (1) 交通手段と交通エネルギーの関係

京阪神都市圏交通計画協議会による京阪神都市圏総合都市交通体系データ第 3 回パーソントリップ (PT) 調査で得られるデータを基にして、端末交通手段については交通手段別の所要時間を用い、代表交通手段については所要時間とゾーン間距離を併用することで、端末交通手段の違いおよび走行速度別の燃費の差異を考慮したトリップエネルギー (TE) をゾーン別に算定した。

算出した地域別 TE を比較検討した結果、地域別 TE は、大阪の都心周辺部で最も小さい (図 9)。

一方、都市的土地利用の少ない山間部に次いで、神戸と大阪の都心部と臨海部、京都駅南側で TE が大きい。全般的には、人口密度が高く、鉄道 TE が小さい地域の TE が小さい。都心部では、通学集中 TE や帰宅発生 TE が他地域より大きく、目的分類別 TE が大きい業務トリップの頻度が高いことが TE を押し上げている。業務 TE は、京阪神の都心部で最も小さく、徒歩または自転車の分担率が 1～2 割を超える地域であった。図 10 の通勤発生 TE をみると、京阪神の都心部と都心周辺部が最も小さい。次に通勤発生 TE の小さい郊外部は、地方都市や鉄道沿線を中心にネットワーク状に広がっている。鉄道 TE は、京阪神都心部から 10～15km 圏内が最も低い。路線網に沿った形の地域で TE が小さいことから、端末交通手段にかかるエネルギーの差が表れていると考えられる。距離と所要時間を組み合わせた TE の算定法を行うことによって初めて TE の地域差を詳しく把握・表示することができた。省エネルギー型ひいては二酸化炭素排出量の少ない都市を形成するためには、最も TE

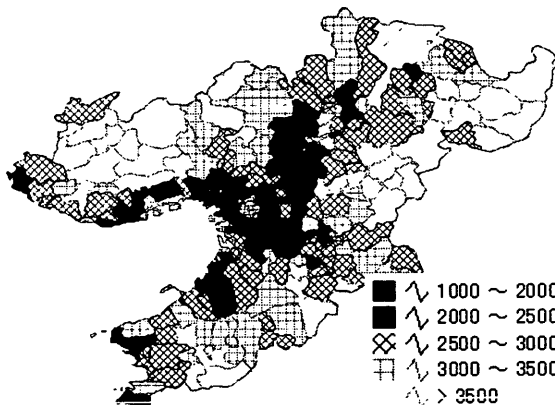


図 9 地域別 TE (発生, kcal/trip)

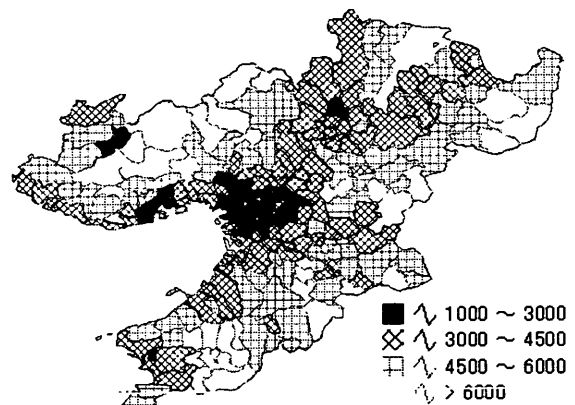


図 10 通勤 TE (発生, kcal/trip)

が小さい都心周辺部と同様の特徴を持つ地域を形成していくことが望ましいと考えられる。

## (2) 低環境負荷型都市の土地利用－交通体系

交通と土地利用に関するヒアリング調査の結果、1)都市圏レベルでは都市の階層構造に応じて中心市街地に商業施設等を誘致する計画を立て、地域の活性化と効率的なアクセスを両立させる。2)都市レベルでは都市軸を定め、交通の輻輳を避け、人口および活動拠点の集中を図り、公共交通機関や自転車の利用を容易にする。3)地区レベルでは活動場所から停留所までの距離を駐車場までの距離より近くし、自家用車に依存しないまちづくりを試みる。4)低環境負荷型交通体系の整備は、必ずしも均質な地域づくりを目指すものではなく、各空間レベルに応じて地域特性を生かした効率的な土地利用－交通体系とするべきこと、中でも駐車場および停留所へのアクセスが手段選択において重要な要素である等が示唆された。

## (3) 停留所と徒歩容易圏

人々の移動に対する需要を自家用車から公共交通機関へ代替させるためには、公共交通機関へのアクセスのし易さが重要となる。従来、停留所までの歩行距離について、8割の人が受け入れる距離は、トラムの停留所で 140m、バス停で 60m とされている。歩行距離が 250m になると、トラムの停留所で 50%、バス停では 10%の人が受け入れる距離とされる。ここでは、容易に歩行できる距離として 250m、

歩行可能な距離として 500m を例に考え、停留所と幹線道路の関係について、徒歩で容易に到達することのできる範囲（以下、徒歩容易圏）の面積でアクセスのし易さを評価した。その結果、1)停留所は幹線道路の付近でなく住区内に置くことが望ましく、適用可能性を考慮すると、横断歩道付近や交差点付近の道路中央部に停留所を設置することが望ましい、2)幹線道路沿いのバス停に多く見られる横断歩道から離れた停留所や横断歩道橋の利用を必要とする停留所は、徒歩容易圏面積を大きく減じる可能性がある、ことが明らかとなった。そこで、熊本市の路面電車を例として、実際の土地利用データを用いた分析を行い、改善案を検討した結果、神水橋停留所について上下の停留所を交差点の東側にまとめた場合、250m 以内の徒歩容易圏人口は約 3 倍となることが分かった。同様に、九品寺交差点について、LRT 化の一例として停留所を地下化した場合に徒歩容易圏人口は約 3 倍、停留所を交差点の東側にまとめて横断歩道によるアクセスを可能とした場合には 5 倍以上に達した。

### 3. 3 需要に適合した輸送機関の技術評価

#### (1) 研究の背景

東アジアを中心とした地域での自動車対策の一環として、中国を主な対象国として現状を把握するとともに、その対策について検討をした。中国においてはかつては石炭を暖房用に燃焼させることによる大気汚染被害が大きな問題だったが、石炭燃料は次第に天然ガスに置き替わりつつある。その反面、自動車の大量普及に伴い、大量の自動車排ガスによる汚染が進んでいる。とくに、トラックにおいてはエンジン形式の古いトラックが大量に使用されていることと、ディーゼル燃料に粒子を発生しやすい物質が多く含まれていることが明らかになってきた。また、乗用車に対しても排ガス規制が十分に行われていないこともあって、大気汚染状態の悪化に影響を与えている。

このような現状に対して、燃料種の変更やエンジンの改良などの対策は効果が大きい。さらに、将来を見越した効果の見込める対策としては電動化があり、中国政府は 2008 年のオリンピックを目指して電気自動車と燃料電池車の開発と普及に力を入れようとしている。

中国では比較的狭い領域での通勤通学が行われていること、かつては自転車が交通の主要な手段であったが、次第にバスによる移動に置き替わりつつあること、さらに中心部の幹線道路は広く高規格な道路が整備されつつあるが、一歩路地に入ると幅 6m 程の道路が広い部類に属するなどが明らかになっており、これらの状況に対応するには電動小型バスが最適であると判断し、導入可能性の評価を行った。

#### (2) 検討した輸送機関の概要

ここで設計を行ったバスは全長約 6.5m、幅 2m で、約 30 人乗りを想定した。基本的な技術として、電池にはリチウムイオン電池、モータには希土類磁石を使ったブラシレス DC モータ、このモータはインホイールモータ方式として各車輪に挿入するものとした。電池その他の主要要素技術は床下のフレーム構造に収納するコンポーネントビルトイン式を採用し、車輪は小型の車輪を 8 輪とするタンデムホイールサスペンション方式を利用するものとした。さらに、ボディ構造に新しく考案したホロービームシェル構造を採用することの妥当性の検討を行った。この技術はアルミ押し出し材で、幅約 20cm、厚さ 5cm で長さが車体の全長に相当する構成部材を作り、これを組み合わせてボディ構造を構成するもので、車体全体の軽量化と高強度化を実現することができる。図 11 にホロービームシェル構造の概念図を示す。これにより、一回の充電で約 150km の走行が可能で、実使用には十分な性能を発揮することが可能となる。コンポーネントビルトイン式フレームにより、地上からの床の高さはわずか 30cm

程度となり、床一面をほぼ平らにすることが可能となる。これによって乗客の乗降がきわめて容易となる。床が低いということは、全高を低くすることにもつながり、住宅密集地の狭い路地でも圧迫感を与えず運行することを可能とする効果もある。図 12 に、設計した小型電動バスの完成予想図を示す。車体の断面形状は、ホロービームシェルの適当な組み合わせによって比較的自由に作ることができるのが特徴である。また前面をファサンドというが、このファサンドについてはデザインが自由で、購入者ごとに異なるデザインとすることも容易である。表 3 に、設計した電動小型バスの仕様を示す。このような電動小型バスは、少量生産段階では価格は高価とならざるを得ないが、大量生産に持ち込めれば構造が単純で部品点数も少ないことから、安価になる。このようなバスの実現の可能性を中国、清華大学と協議を行っている。

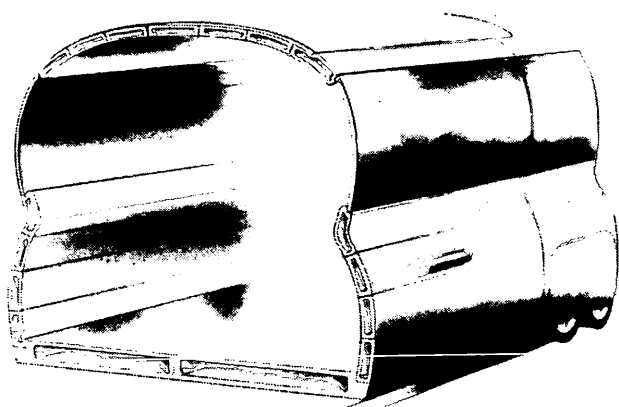


図 11 ホロービームシェルの概念図

表 3 電動小型バスの基本仕様

|         |                 |
|---------|-----------------|
| 全長      | 6500mm          |
| 全幅      | 2000mm          |
| 全高      | 2200mm          |
| 定員      | 30 名    うち座席 21 |
| モータの種類  | ブラシレス DC モータ    |
| モータ出力   | 55kW×2          |
| 電池の種類   | リチウムイオン電池       |
| 電池容量    | 48kWh           |
| 最高速度    | 110km/h         |
| 一充電走行距離 | 150km           |
| 充電時間    | 20 分            |
| 登坂力     | 20%             |

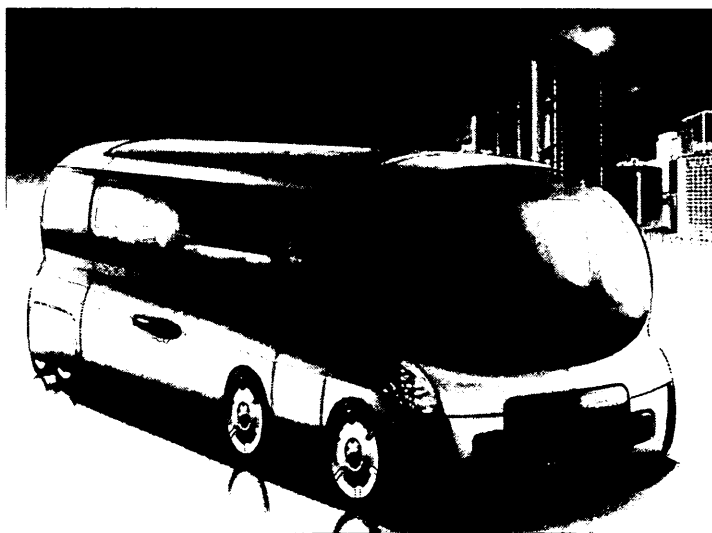


図 12 電動小型バスの完成予想図

### 3. 4 ELCEL<拡張ライフサイクル環境負荷>

#### (1) 研究の概要

地球温暖化の原因となる温室効果ガスの排出削減は、運輸交通部門を含めた人間活動全般にわたる大きな課題となっている。その対策を具体的に立案・実施していくためには、まず、各活動に伴う温室効果ガス発生量と対策実施による変化量を定量的に把握しておくことが不可欠であるが、現状では必ずしも十分に実施されているとは言えない。

例えば、自動車から鉄軌道へのモーダルシフト施策は、半ば常識ともいえる温室効果ガス排出削減策である。これを理由づけるデータとして、「運輸関係エネルギー要覧」の人キロ・トンキロあたりエネルギー消費量・CO<sub>2</sub>排出量原単位がしばしば利用される。しかし、これは運行実績に基づくデータであり、新規鉄軌道整備によって CO<sub>2</sub> 排出が削減されることを必ずしも保証するものではない。まず、1)整備された鉄軌道において輸送力のわりに利用者が少なければ、CO<sub>2</sub> 排出量原単位は既存鉄軌道に比べて高くなってしまう。したがって、自動車から新規鉄軌道にどれだけのトリップが転換するか、鉄軌道事業者がどの程度の輸送力を提供するかを明らかにした上で CO<sub>2</sub> 排出量原単位を求めることが必要である。一方、2)鉄軌道整備自体がインフラ建設・維持管理および車両製造等に伴って多くの環境負荷を生じる活動であることも忘れてはならない。これらの環境負荷も、鉄軌道整備の計画段階でどの程度の輸送力を想定するかによって変化するものである。すなわち、新規鉄軌道整備の評価にあたっては、1)運行効率による CO<sub>2</sub> 排出量原単位の違い、2)鉄軌道の建設や維持管理に伴って生じる CO<sub>2</sub> の考慮、が必要である。

交通に伴う環境負荷は、輸送機関の特性はもとより、その走行速度や混雑率といった利用状況に大きく影響を受けることから、それを考慮せずに優劣を論じることは難しい。また、新規の輸送機関を整備する際には、インフラ・車両によって生じる環境負荷も考慮する必要がある。

本研究では、輸送機関の新規整備に伴う環境負荷変化効果を定量的に推計するために、従来の LCA (ライフサイクルアセスメント) における評価範囲を交通システム全体への波及効果まで広げた「ELCEL<拡張ライフサイクル環境負荷>」の概念を提示し、それに従った輸送システムの環境面からの評価の方法論を示すことを目的とする。その際、輸送機関の利用状況に関する諸変数を分析可能とすることで、これらによる感度分析が可能となるようにする。なお、輸送機関整備の計画段階では具体的なデータが得られないことを考慮して、標準的な原単位を整備し利用することによる LCA の簡略化手法と原単位を示す。

#### (2) 交通インフラにおける LCA —ELCEL : 拡張ライフサイクル環境負荷

##### a)ELCEL の定義

本研究で目的とする、新規輸送システムの計画段階において、想定される利用・運行状況の違いを考慮した CO<sub>2</sub> 排出量評価手法の構築にあたっては、Life Cycle Assessment (LCA) のアプローチが有効である。LCA は、評価対象がその製造から維持管理を経て廃棄までのライフサイクル全体で発生する環境負荷を評価する方法である。もともと、LCA の適用対象は工業製品であったことから、標準的な LCA (ISO-LCA) では、環境負荷の計量範囲を、a)評価対象自体と、b)その原材料および製造機械等から遡及的に発生する分、と想定することが一般的である。しかし、この想定範囲を新規鉄軌道整備にそのまま適用すると、可能な検討は原材料や施工法のみにとどまってしまう<sup>8)</sup>。この問題は、交通インフラへの LCA 適用にあたって一般的に生じるものであり、インフラ LCA 研究における課題として常



に位置づけられてきた<sup>9)</sup>。

そこで、LCA の交通インフラへの適用にあたって、評価範囲をインフラ整備によって波及的に生じる環境負荷にまで拡張した「ELCEL (Extended Life Cycle Environmental Load: 拡張ライフサイクル環境負荷)」の考え方を提案し、道路整備の環境負荷評価への適用を試みている<sup>10), 11)</sup>。本研究では、この ELCEL 概念を新規鉄軌道整備の環境負荷評価に応用し、整備による ELC-CO<sub>2</sub> (Extended Life Cycle CO<sub>2</sub>) 変化を推計する手法を構築する。さらにこれを用いて、新規鉄軌道整備が CO<sub>2</sub> 排出削減策たりうるか否かを検討する。

なお、LCA の方法論には、単に CO<sub>2</sub> 排出量を求めるのみならず、あらゆる環境負荷を網羅的に算出し、それらを統合評価することまでが含まれる。そのために、本研究では、他の環境負荷に関する評価の手法や、統合評価指標である EFP (Environmental Friendliness Point) の定義も行っている。しかしながら本報告においては、CO<sub>2</sub> 排出量 (ELC-CO<sub>2</sub>) の推計に限定して説明する。

さらに、a) 地域内旅客輸送 (地下鉄・路面電車)、b) 地域間旅客輸送 (在来型鉄道・新幹線鉄道・磁気浮上式超高速鉄道) を想定したケーススタディを実施し、これらの整備による CO<sub>2</sub> 削減効果について考察を試みる。

#### b) ELCEL 概念に基づく環境負荷評価指標の定義

本研究では、新規交通機関の例として、鉄軌道整備を取り上げる。整備に伴う ELC-CO<sub>2</sub> の増減として取り扱う範囲を、以下 i)、ii) のように設定する。

##### i) 新規鉄軌道整備によって発生する ELC-CO<sub>2</sub>

- ・ 線路、駅等のインフラ建設・維持管理 ( $E'_i$ )
- ・ 鉄軌道車両製造・維持管理 ( $E'_v$ )
- ・ 鉄軌道運行によるエネルギー消費 ( $E'_d$ )

##### ii) 鉄軌道への転換による道路交通量減少に伴う

ELC-CO<sub>2</sub> の減少 ( $\Delta E'_d$ )

以上より、新規鉄軌道整備に伴う ELC-CO<sub>2</sub> の変化は式(1)で表される。

$$E_{with} - E_{without} = E'_i + E'_v + E'_d - \Delta E'_d \quad (3)$$

$E_{with}$  (鉄軌道整備あり) と  $E_{without}$  (鉄軌道整備なし) は多くの要因によって変化するが、特に整備区間の全交通機関の総輸送需要  $D$  に大きく影響され、図 13 に示すように変化すると考えられる。需要がほとんどない場合には、鉄軌道整備自体による CO<sub>2</sub> 増加 ( $E'_i + E'_v$ ) が相対的に大きくなるため、 $E_{with}$  が大きい。しかし、鉄軌道が存在する場合は  $D$  が増加しても鉄軌道が一部を分担するため、 $E_{with}$  の増加が小さくなる。そして、 $D$  がある値を越えると両者の ELC-CO<sub>2</sub> は逆転する。このような  $D$  の値を求めることが、CO<sub>2</sub> 削減の観点から鉄軌道整備を評価するにあたって参考になる。

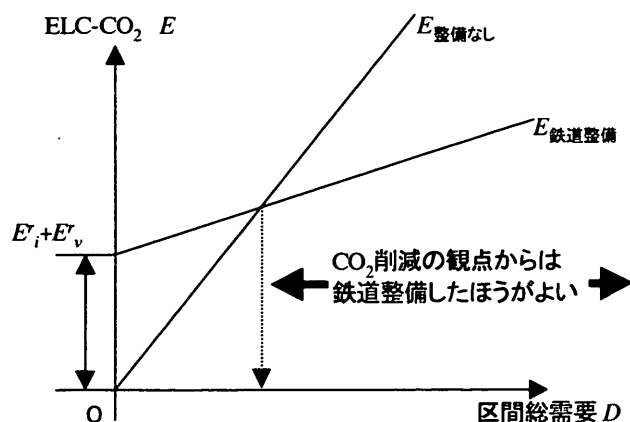


図 13 区間総需要と ELC-CO<sub>2</sub> との関係

なお、式(3)による ELC-CO<sub>2</sub> の定義では、道路インフラ建設段階や自動車製造段階の CO<sub>2</sub> 排出は含まれていない。このことは、道路の新設・改良や、周辺地域の自動車保有台数変化が、鉄軌道整備とは無関係に生じることが仮定できる場合に成立する。また、鉄軌道供用後の道路混雑緩和や区間の利便性向上に伴う誘発交通が生じる場合には、各交通機関の輸送量変化に組み込む必要がある。

### c) Interpretation

代替案ごとの環境負荷比較・検討は、工業製品の LCA のように機能単位

(Functional Unit) が比較的明確なものの場合は、LCA 実施とともにコスト面での実行可能性を検討すればよいが、社会資本整備代替案では、案によって機能の質が異なるのが一般的である。社会資本の場合、機能単位指標として考えられる最も一般的なものは(貨幣単位の) 便益であることから、単位便益当りの環境負荷(環境性能: Environmental Performance) を求めることが考えられる。また、この逆数、すなわち、環境1単位当りの便益のことを環境サービスアビリティ(Environmental Load Serviceability: ELS)と呼ぶことがある。これらの指標は、環境負荷を金額に換算しない方法である。その他に、環境負荷を CVM 等の方法によって貨幣価値換算して便益の一項目に算入する方法も考えられる。

以上のことを踏まえ、環境負荷を貨幣評価せず、便益と環境をそれぞれ評価軸として視覚的に理解する方法として、加藤(2001)らは図14に示したように、各代替案実施に伴う ELCEL 変化と純便益の関係をベクトルで表現する方法を提案している。このベクトルの傾きの逆数が ELS に相当する。これらのうち環境配慮の面から最も望ましいのは第IV象限に当たる案である。第I象限に入る場合には、点Aのような環境基準を上回る代替案が棄却されるのは当然のことながら、ある程度の純便益を確保しつつベクトルの傾きの小さい(ELSの大きい)案を採用することが望ましい。

### (3) 都市内鉄軌道整備による CO<sub>2</sub> 排出量変化の評価手法

#### (a) 想定と考え方

ここでは、新規鉄軌道整備の計画段階において、想定される利用・運行状況の違い

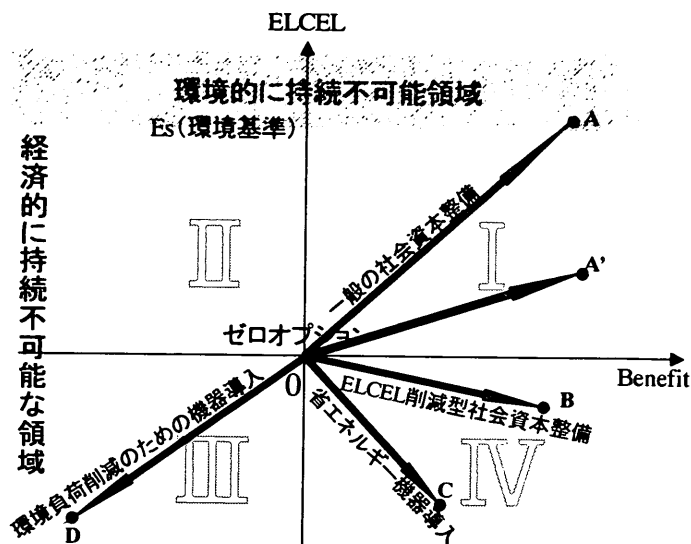


図14 環境負荷-便益プロット図

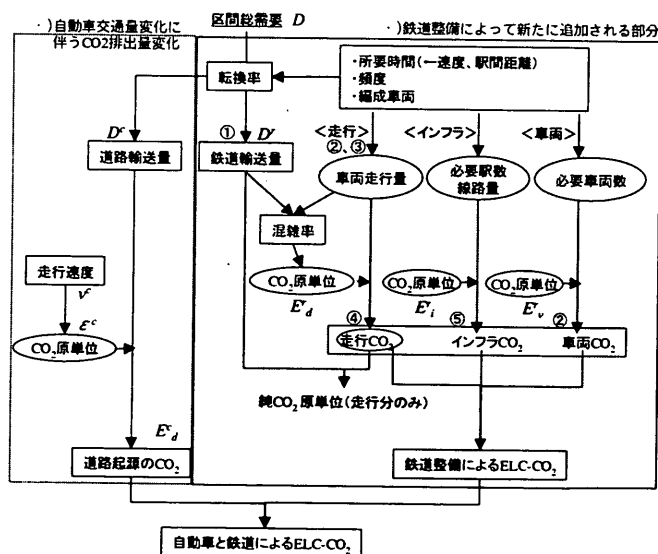


図15 ELC-CO<sub>2</sub> 推計のフローチャート

を考慮した CO<sub>2</sub> 排出量評価手法を構築する。

ELC-CO<sub>2</sub> の推計は、図 15 に示すフローチャートに従って行われる。基本的な考え方は、CO<sub>2</sub> 排出の原因となる各活動の量を推計し、それに CO<sub>2</sub> 排出量原単位を乗じて加え合わせる積み上げ法である。ただし、各 CO<sub>2</sub> 排出量原単位には、既往のインフラ LCA 研究でも一般的に用いられている内包原単位を利用する。内包原単位とは、単に対象とする製品の製造時のみならず、製品の原材料や製造機械等の投入物による排出も含めた原単位のことである。これは産業連関表を用いて計算することができ、CO<sub>2</sub> に関してはデータ整備も進んでいる。本研究でも既整備の内包原単位データ<sup>13)</sup>を利用して推計を行う。

本研究では、2 地点間の鉄軌道整備を対象とした推計モデルの定式化を試みている。対象の 2 地点間について、従来は交通手段が道路のみであり、交通需要  $D$  がすべて道路を利用していたのが、鉄軌道整備後に  $D'$  だけ転換したと仮定する。このとき、式(4)が成立する。

$$D = D' + D'' \quad (4)$$

$D$  : 区間総需要量、 $D'$  : 道路輸送量

$D''$  : 鉄軌道輸送量 (いずれも片道)

鉄軌道が整備されない場合の ELC-CO<sub>2</sub> 推計は図 15 のハッチがかかっていない部分 (ii)) のみとなる。自動車の走行に伴う CO<sub>2</sub> 排出量は、区間総需要量 (人ベース) を自動車 1 台あたり平均乗車人員 (1.3 人を仮定) で除して台ベースに変換し、それに区間距離と CO<sub>2</sub> 排出量原単位を乗じて推計する。

一方、鉄軌道が整備されると、区間需要の一部が転換するとともに、鉄軌道のインフラや車両の建設・維持管理が発生するために、新たに図 15 のハッチの部分 (i)) を推計する必要が出てくる。鉄軌道の場合問題となるのは、事業者が輸送力 (運行頻度・編成両数・車両定員等) を決定するため、輸送需要から実際の運行キロや運行効率 (混雑率：自動車の場合の平均乗車人員に相当) を直接決定できない点である。そこで本モデルでは、以下に示す考え方によって、輸送力を規定する混雑率を政策変数として与えることを可能としている。

(i) 鉄軌道の運行本数・必要車両数の内生的決定：鉄軌道の必要車両数は、需要が最も多い時間帯における必要車両数から決定されることから、本研究では 1 日の運行時間を 3 区分し、鉄軌道需要の時間変動を考慮することで対応する (図 15①)。必要車両数の決定により、車両製造および維持管理に伴う CO<sub>2</sub> 排出量を推計できる (図 15②)。また、時間帯別の混雑率を外生的に設定することで、1 日の総運行本数が決定される (図 15③)。

(ii) 鉄軌道運行によるエネルギー消費量の推計：さらに、需要 (混雑率) の時間変動によって車両重量が変動し、必要な牽引力とそのためのエネルギー消費量が変動する。これを積み上げる形で 1 日の総エネルギー消費量が得られ、さらにエネルギー消費あたり CO<sub>2</sub> 排出量原単位を乗じることで、運行による CO<sub>2</sub> 排出量が推計される (図 15④)。

(iii) 鉄軌道インフラ整備量の内生的決定：インフラ建設においては、駅間距離や路線延長等から、駅数・線路量・車庫等のインフラの整備量が決定でき、そこから発生する CO<sub>2</sub> が推計される (図 15⑤)。

(iv) ライフタイムの設定：LCA においては対象のライフタイム (使用年数) の設定が必要である。本研究では鉄軌道のライフタイム  $T_s$  として駅や線路等のインフラ施設の耐用年数 (60 年) を用いる。車両の耐用年数  $T_v$  (20 年) はこれより短いため、60 年間に  $60/20-1=2$  回の車両更新を考慮する必要がある。なお、簡単のため、建設される鉄軌道は、複線電化で勾配はなく、駅間距離はすべて等しいと仮定する。乗客数は全断面・両方向で一定であると仮定し、誘発需要は生じないものとする。

以上より、式(3)で定義した新規鉄軌道整備に伴う ELC-CO<sub>2</sub> 変化が求められる。なお、本モデルの詳細な式は省略するが、新規鉄軌道整備における以下の変数設定が検討可能なものとなっている。

a) 交通需要：

区間総需要 ( $D$ ) / 鉄軌道への転換率 ( $D'/D$ ) / ピーク率 ( $P_m$ )

b) 車両性能・仕様：

耐用年数 ( $T_v$ ) / 加減速性能 ( $\alpha$ ) / 定員 ( $a$ )・編成車両数 ( $b$ )

c) 鉄軌道整備計画：

駅間距離 ( $l$ )

d) 運行計画：

所要時間 ( $t_t$ ) / 頻度 ( $N$ ) / 混雑率 ( $C$ )

(b) 新規鉄軌道整備による ELC-CO<sub>2</sub> 変化の分析結果

(i) モデル分析の内容および仮定

試算例として、ある仮想区間 (道路距離 8[km]) を考え、これに並行する地下鉄および路面電車を新たに建設した場合の ELC-CO<sub>2</sub> 変化を推計する。

この試算を大きく左右する設定変数は、当該区間の交通状況が鉄軌道整備の前後でどのように変化するかを表す、a)区間総需要、b)鉄軌道への転換率、c)自動車走行速度、である。仮想区間を対象とするため、a), b), c)各変数の推計に必要な分布交通量予測モデル、機関分担率モデル、交通量－速度関係式 (Q-V 式) のそれぞれについて、何らかの仮想的な設定を行う必要がある。本研究ではこれら各モデルの設定は困難であるため行わない代わりに、以下の想定によるモデルの感度分析を試みる。

- ・ a)および b)の違いが鉄軌道整備に伴う ELC-CO<sub>2</sub> 変化にどのような影響をもたらすかに関する感度分析を行う。このとき a)区間総需要の鉄軌道整備による誘発は生じず、c)自動車走行速度も整備前後で変化しないと仮定する。((ii)節)
- ・ 鉄軌道整備前後で c)自動車走行速度は変化しないものの、a)区間総需要が誘発される場合を考え、どの程度の誘発需要が生じると、鉄軌道整備に伴う ELC-CO<sub>2</sub> 削減効果が打ち消されるかに関する試算を行う。((iii)節)

なお、自動車走行速度を外生的に与えていることから、自動車交通量変化に伴う CO<sub>2</sub> 排出量変化の推計においては、自動車走行速度の時間帯別変化は扱わず、1 日平均の速度を用いている。

- ・ 鉄軌道インフラや車両の建設・維持管理費用、混雑率や運行頻度等に関しては、名古屋市交通局地下鉄線や札幌市交通局軌道線のデータを参考に、表 4 のように設定している。この値では、路面電車は地下鉄に比べ a)車両は小さく性能もやや劣る、b)電停数が多いため加減速が繰り返され、走行時の CO<sub>2</sub> が多くなる、c)インフラ費用は圧倒的に小さく、それに伴う CO<sub>2</sub> も小さくなる、という設定となっている。

また、内包 CO<sub>2</sub> 原単位に関しては、文献<sup>13)</sup>で示されている 1990 年の値を適用している。技術革新等による将来の排出原単位改善を加味した分析を行う場合には、この原単位を変化させることが必要である。また、地下鉄・路面電車の区分が存在しないため、便宜上、いずれについても「鉄道軌道建設 ( $\varepsilon'_{ic}$ ,  $\varepsilon'_{im}$ )」「鉄道車両 ( $\varepsilon'_{vc}$ )」「鉄道車両修理 ( $\varepsilon'_{vm}$ )」の原単位を適用している。

(ii) 区間総需要・鉄軌道への転換率の感度分析

鉄軌道整備に伴う区間総需要の誘発や自動車走行速度の変化が生じない（設定値は表 4 参照）という仮定の下で、区間総需要や鉄軌道への転換率の違いが ELC-CO<sub>2</sub> 変化に与える影響を試算する。

### 地下鉄整備

図 16 は、区間の総輸送需要が（全断面を通して）20 万[人/(日・片道)]あり、地下鉄建設によってその 30%（6 万[人/(日・片道)]）が転換する場合の、ELC-CO<sub>2</sub> 変化の試算結果である。建設しない場合（without）に比べ建設する場合（with）の方が、ライフタイムで約 12%削減されていることが分かる。地下鉄インフラや車両の建設・維持管理分を除いた場合（つまり自動車走行＋地下鉄走行分のみ）では削減率は約 23%となることを考えると、インフラや車両起源の部分が無視できない値であることが分かる。なお、地下鉄を整備した場合、地下鉄起源の ELC-CO<sub>2</sub> は全体の約 2 割を占めている。

表 4 分析で用いたデータ設定

| 車両             |               |        |       |
|----------------|---------------|--------|-------|
| 項目             | 変数            | 地下鉄    | 路面電車  |
| 耐用年数[年]        | $T_v$         | 20     | 20    |
| 乗車定員[人/両]      | $a$           | 103    | 62    |
| 編成車両数[両/編成]    | $b$           | 6 (4)  | 2     |
| 車両単価[億円/両]     | $x$           | 1.22   | 0.7   |
| 車両維持費[百万円/両/年] | $m_v$         | 100    | 10    |
| 自重[t/両]        | $W_s$         | 23.8   | 18    |
| 乗客の平均体重[kg]    | $\gamma$      | 60     | 60    |
| 最大牽引力[N/両]     | $\beta_l$     | 29,167 | 9,600 |
| モーター出力[kW/両]   | $w\beta_l$    | 200    | 80    |
| 摩擦係数           | $\mu$         | 0.01   | 0.01  |
| 定速時の速度[km/h]   | $\alpha_{tl}$ | 60     | 30    |
| 加速度性能[km/h/s]  | $\alpha$      | 3.5    | 3     |

| 路線           |       |              |       |
|--------------|-------|--------------|-------|
| 項目           | 変数    | 地下鉄          | 路面電車  |
| 路線長[km]      | $L_r$ | 6.2          | 8     |
| 駅（電停）数       | $S$   | 7            | 17    |
| 駅（電停）間距離[km] | $l$   | 1.067        | 0.500 |
| 駅（電停）停車時間[s] | $t_b$ | 30           | 20    |
| 折り返し時間[s]    | $R$   | 300          | 300   |
| 朝ラッシュ混雑率[%]  | $C_m$ | 200<br>(150) | 150   |
| 日中混雑率[%]     | $C_u$ | 80<br>(60)   | 60    |
| タラッシュ混雑率[%]  | $C_e$ | 160<br>(120) | 120   |

| インフラ          |       |      |      |
|---------------|-------|------|------|
| 項目            | 変数    | 地下鉄  | 路面電車 |
| 使用年数[年]       | $T_s$ | 60   | 60   |
| 建設費用[億円/km]   | $G'$  | 150  | 23.3 |
| 維持費用[億円/km/年] | $m_i$ | 0.94 | —    |

| 道路交通                 |                |     |                  |
|----------------------|----------------|-----|------------------|
| 項目                   | 変数             | 地下鉄 | 路面電車             |
| 走行速度＜整備なし＞<br>[km/h] | $V_{with-out}$ | 20  | 20               |
| 走行速度＜整備あり＞<br>[km/h] | $V_{with}$     | 20  | 15（併用）<br>20（専用） |
| 自動車平均乗車人数<br>[人/台]   | $I_c$          | 1.3 |                  |

※地下鉄における（ ）内の数値は、地下鉄と路面電車の比較の際に用いた値である。これは、両者の輸送力が大きく異なり、混雑率を高くすると地下鉄の運行頻度が非常に小さくなってしまいうため、別途設定したものである。

次に図 17 は、対象区間の総輸送需要を 10 万[人/(日・片道)]、20 万[人/(日・片道)]、30 万[人/(日・片道)]と変化させ、地下鉄への転換率をいずれも 30%とした場合の ELC-CO<sub>2</sub> 増減を試算したものである。この結果から、1)総輸送需要が大きいほど ELC-CO<sub>2</sub> の減少量が大きいこと、2)総輸送需要が小さい場合、地下鉄整備による自動車走行 CO<sub>2</sub> の減少は地下鉄起源 CO<sub>2</sub> の増加分と拮抗すること、3)地下鉄起源分の中で大きいのは走行とインフラ建設による分であること、が分かる。(なお、インフラ建設・維持管理分は、整備するインフラがいずれの場合も同じであるため変化しない。)

さらに図 18 は、区間総需要と ELC-CO<sub>2</sub> 削減率との関係を、地下鉄への転換率 (10%, 20%, 30%, 40%) ごとに試算したものである。これを見ると、1)区間需要が少ないと、転換率が大きくても ELC-CO<sub>2</sub> が削減されないことや、2)区間需要が増加するにつれ削減率は増加するものの、しだいに頭打ちになる傾向があることが分かる。なお、図 19 の結果から、ELC-CO<sub>2</sub> 削減率がゼロとなる地下鉄輸送量が、曲線と横軸との交点における区間総需要に転換率を乗じた値として推計できるが、その値は転換率によらず 25,000～30,000[人/(日・片道)]程度であることが分かる。日本の 3 大都市圏の地下鉄では大部分がこの値を上回っているものの、一部路線や末端区間では下回るところもある。

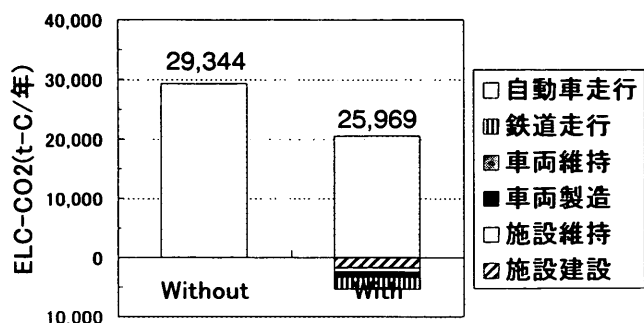


図 16 地下鉄整備前後での ELC-CO<sub>2</sub> 変化 (区間総需要 20 万人/日・片道、地下鉄への転換率 30%)

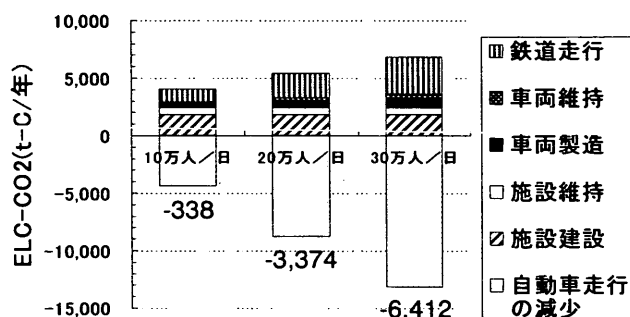


図 17 地下鉄整備前後での ELC-CO<sub>2</sub> 増減とその内訳 (地下鉄への転換率 30%)

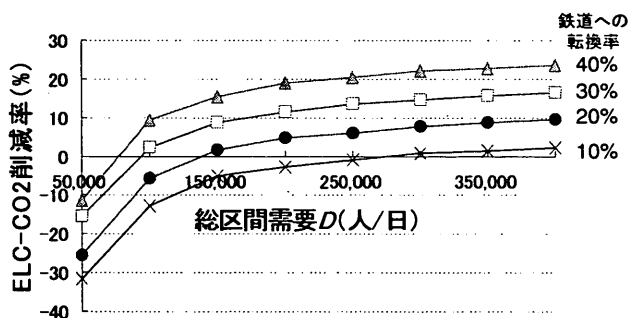


図 18 区間総需要・地下鉄への転換率と ELC-CO<sub>2</sub> 削減率との関係

地下鉄と路面電車の比較

図 19 は、同じ区間で、総需要 10 万[人/(日・片道)]として、地下鉄・路面電車整備によって 40%が転換されると想定した場合の ELC-CO<sub>2</sub> 変化推計結果である。これを見ると、地下鉄整備の場合には約 7%削減される一方、路面電車を併用軌道で建設した場合には、逆に約 3%増加する結果となっている。この原因として、a)加減速回数が多いことや 1 本あたり輸送量が小さいことから、輸送人キロあたり電力消費が地下鉄に比べて大きいこと、b)軌道を路上に確保することによって道路の自動車走行速度が低下するという想定のため、自動車燃費が悪化し、自動車走行分の減少が抑制されることが挙げられる。なお、総輸送需要 10 万[人/(日・片道)]の場合には約 49%が路面電車に転換しないと ELC-CO<sub>2</sub> は削減されないと推計される。このとき、朝ラッシュ時の運行本数は 2 両編成で 40[本/時]にも達する。

また、路面電車を既存道路とは別の専用軌道で整備した場合には、自動車走行速度低下は生じないため、整備なしに比べ約 5%の削減となっている。

さらに図 20 は、区間総需要と転換率の違いによって、地下鉄・路面電車を整備した場合としない場合とでいずれの場合が ELC-CO<sub>2</sub> 最小となるかを、モデル推計結果を利用して領域に示したものである。この結果から以下のことが示される。

a) 区間総需要が約 7 万[人/(日・片道)]を下回る場合では、路面電車と自動車との選択になる。ただし、路面電車が ELC-CO<sub>2</sub> 最小となるためには、3 万[人/(日・片道)]では約 52%、5 万[人/(日・片道)]では約 41%という高率の転換が起こることが必要である。

b) 一方、区間総需要が約 8 万[人/(日・片道)]を越えると地下鉄と自動車の選択になる。この場合、転換率 35%以下で地下鉄が ELC-CO<sub>2</sub> 最小となる。

(iii) 区間総需要の誘発効果の感度分析

表 5 は、鉄軌道整備後に区間総需要の誘発が生じて道路輸送量の減少が抑制される場合、どの程度の誘発需要が生じると ELC-CO<sub>2</sub> 削減効果がゼロとなるかを試算した結果である。表内の値は、道路輸送の減少抑制量を転換前の総需要に対する比率として表したものである。試算にあたっては(ii)と同様に表 4 のデータを用いており、自動車走行速度は変化しないと仮定している。実際には自動車走行速度が上昇して燃費が向上することから、表 5 の試算値は過小推計になっている。

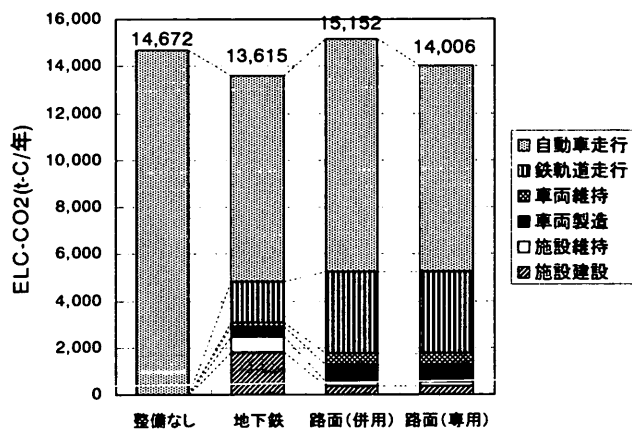


図 19 地下鉄・路面電車整備による ELC-CO<sub>2</sub> 変化 (区間総需要 10 万人/日・片道、鉄軌道への転換率 40%)

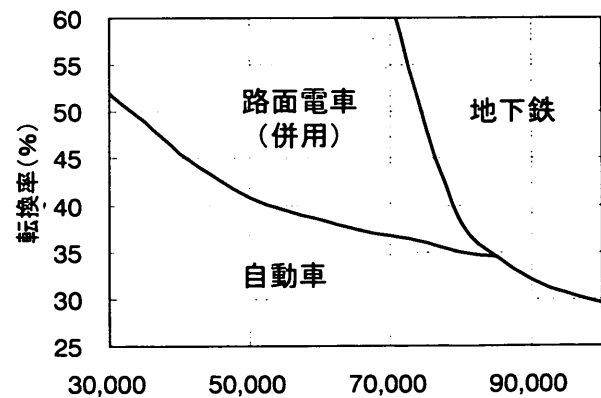


図 20 区間総需要と転換率による ELC-CO<sub>2</sub> 最小交通機関の違い

表 5 鉄軌道を整備しても ELC-CO<sub>2</sub>削減量がゼロとなるような需要誘発量

(転換前の総需要に対する  
道路需要誘発量の割合[%])  
上段：地下鉄／下段：路面電車（専用軌道）

| 総輸送需要<br>[人/(日・<br>片道)]<br>地下鉄<br>への転<br>換率[%] | 10 万        | 20 万         | 30 万         |
|------------------------------------------------|-------------|--------------|--------------|
| 10                                             | —<br>—      | —<br>1.7     | 1.0<br>2.3   |
| 20                                             | —<br>3.5    | 4.9<br>5.3   | 7.8<br>6.0   |
| 30                                             | 3.0<br>7.0  | 11.8<br>9.0  | 14.9<br>9.6  |
| 40                                             | 9.7<br>10.6 | 19.2<br>12.6 | 22.2<br>13.2 |

※「—」は、誘発が起ころなくとも (0%)  
整備後の ELC-CO<sub>2</sub>が上回っている場  
合を表す。

この結果から、a)鉄軌道への転換が生じて、誘発需要によって道路輸送量減少がその半分程度になるとときには、ELC-CO<sub>2</sub>はむしろ増加してしまう、b)総輸送需要や転換率が小さいときほど、より少ない誘発需要でも ELC-CO<sub>2</sub> 削減効果が生じない傾向にある、ことが分かる。また、地下鉄と路面電車との比較では、総輸送需要や転換率が小さい場合、すなわち鉄道への転換量が少ない場合ほど、路面電車の方がより多くの誘発交通量でも ELC-CO<sub>2</sub> 削減効果が大きくなる傾向にある。これは、(ii)における比較結果からも言えることである。

(4) 都市間高速鉄道整備による CO2 排出量変化の評価手法

a) 想定と考え方 ー構成要素の標準化を適用した簡略 LCA 手法ー

ここでは、日本で現在構想されている磁気浮上式超高速鉄道プロジェクト「リニア中央エクスプレス」(東京～名古屋～大阪)を対象に、その整備に伴う CO<sub>2</sub> 排出量変化の予測を行う。

一般的なインフラ LCA では、評価対象についてのすべての設計図と施工手順を考えて推計が行われる必要がある。しかし、リニア中央エクスプレスは、具体的なルート決定さえ行われていない段階であることから、一般的な LCA のような詳細設計の考慮は全く不可能である。

そこで、鉄道システムを、鉄道模型のパーツのように分解した「標準モデル」から構成されるものと考え、各標準モデルに関してあらかじめ LCA を実施し、それらを組み合わせることにより ELCEL を算出する「簡略 LCA」手法を適用する (図 21)。例えば、ある区間において、山間ルート・トンネルルー

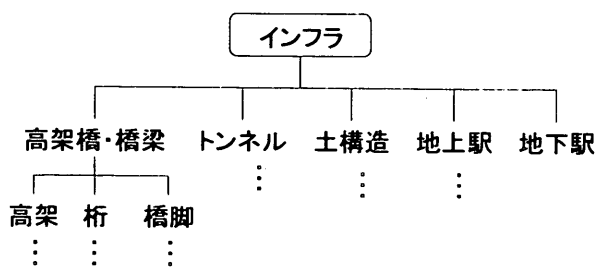


図 21 高速鉄道を構成する各構造物への分解

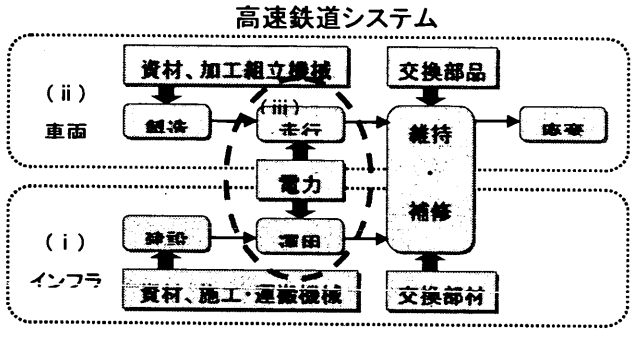


図 22 高速鉄道システムのライフサイクルの範囲



ト・迂回ルートが3案が考えられている場合、各構造形式（標準モデル）の環境負荷があらかじめ求められている上で、各ルートに関して構造形式別の延長がわかれば、インフラ自体の環境負荷量が概算できる。さらに、トンネルルートだと、インフラ起因の環境負荷が大きいと考えられるが、勾配が小さいため最高速度が早く設定でき、距離も短くてすむ。逆に、山間ルートや迂回ルートは勾配や距離の観点から走行による環境負荷が大きいと考えられる。以上のように、標準モデル形式の設定をあらかじめ行うことで、詳しい設計図がない段階で ELCEL の増減を概算することができ、計画段階での代替案比較が可能となる（図 22）。

#### b) LCI (Life Cycle Inventory) プロセスツリーの構築

LCI 分析を行うには、まず、標準モデルの形成プロセスを把握する必要がある。すなわち、CO<sub>2</sub> 発生の原因となる行為や対象部材、素材を特定し、因果連鎖的に抽出していかなければならない。そのために、それぞれについて、材料、行為間あるいは部材間の相互関連プロセスをツリー状に表現（プロセスツリー）しておくことが必要である。例えば、トンネルには、シールド工法、開削工法、山岳トンネル工法の3つの標準形式が考えられ、さらにそれぞれが資材消費、運搬、施工というライフサイクルプロセスをもつ、といったようにみていく必要がある。このようにして、原材料や機材投入までさかのぼり、その投入量と原単位を用いて、CO<sub>2</sub> 排出量を推計し積み上げる。このようなプロセスツリーを作図することによって、検討対象がすべて網羅されているか、材料相互の関係に齟齬がないかどうかのチェックが可能となる。

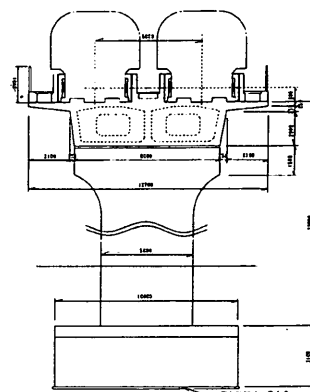


図 23 高架橋の標準断面

#### c) 標準モデルの設定と CO<sub>2</sub> 排出量原単位

ここではインベントリ分析を CO<sub>2</sub> 排出量に限定して実施している。

##### (i) インフラ

標準断面は山梨実験線から抽出している（図23～25）。インフラ構造物は、新幹線のものより一回り大きい。具体的な資材や機械の投入量は不明であるため、日本鉄道建設公団<sup>15)</sup>や鉄道総合技術研究所<sup>16)</sup>が実施している新幹線構成要素のLCAの結果を参考に概算を行った。

高架橋・トンネル・土構造については、断面の大きさに比例してCO<sub>2</sub>排出量も増えるとした。概算の結果、地上駅のCO<sub>2</sub>排出量は新幹線の2割増しとした。また、文献15)より地下駅については地上駅の12倍とした。原単位の計算結果を表6に示す。

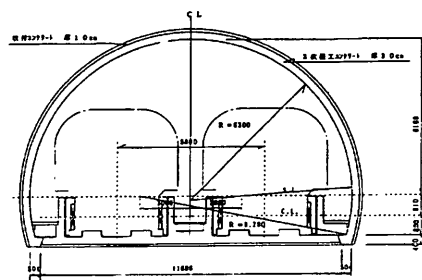


図 24 トンネルの標準断面

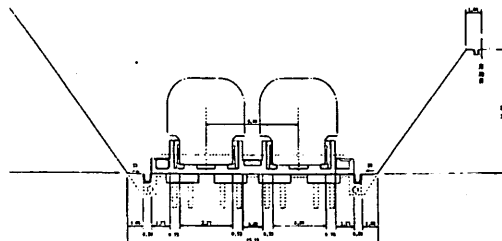


図 25 土構造の標準断面

コンクリートや鋼材の使用量が多いトンネルや高架橋、地下駅の原単位が大きな値となっている。

(ii) 車両

辻村<sup>17)</sup>によると、新幹線車両の製造段階で150[t-CO<sub>2</sub>/両]、維持補修段階で95[t-CO<sub>2</sub>/両]、廃棄段階で0.62[t-CO<sub>2</sub>/両]という値が得られている。また、新幹線車両の価格が4,000[百万円/16両1編成]に対して、高速鉄道車両は12,000[百万円/16両1編成]であることを利用し、CO<sub>2</sub>排出量が価格に比例すると仮定して概算した結果が表7である。

(iii) 走行（飛行）

各代替交通機関の東京－大阪間走行（飛行）時のCO<sub>2</sub>排出量を人キロベースに直したものを表8に示す。高速鉄道は航空機の3分の1程度の値となっている。

d) LCAの結果

(i) 構造種別・延長の設定

c)で算出した標準モデルの原単位を用いて、磁気浮上式超高速鉄道整備プロジェクトのLCAを実施する。試算に必要な、総路線延長、構造種別ごとの延長および駅数は、詳細な計画が発表されていないことから、表9のように仮に設定した。

(ii) ELC-CO<sub>2</sub>概算結果

中央リニアエクスプレスのELC-CO<sub>2</sub>をライフタイム60年として算出した結果を図26に示す。これは愛知県の全部門の年間CO<sub>2</sub>総排出量に匹敵する量である。そのうち走行段階からの排出が約87%と圧倒的に多くなっている。

(iii) 構造種別延長とCO<sub>2</sub>排出量の関係

図27は、構造種別ごとの延長とCO<sub>2</sub>排出量のシェアを示したものである。延長で16%を占める土構造からのCO<sub>2</sub>排出量が6%であるのに対し、延長が60%であるトンネルのCO<sub>2</sub>排出量は65%にのぼっている。これは、トンネルの方がコンクリート材料を大量に使用するためであり、通常のインフラLCAの結果と同様である。

表6 本体標準構造物のCO<sub>2</sub>排出原単位

| 構造種別         | 建設     | 維持補修  |
|--------------|--------|-------|
| 高架橋[t-C/km]  | 5,000  | 300   |
| トンネル[t-C/km] | 5,500  | 200   |
| 土構造[t-C/km]  | 2,000  | 100   |
| 地上駅[t-C/駅]   | 2,500  | 100   |
| 地下駅[t-C/駅]   | 32,000 | 1,200 |

ライフタイム：60年

表7 高速鉄道車両のCO<sub>2</sub>排出原単位

| 段階                          | 製造    | 維持補修  | 廃棄 |
|-----------------------------|-------|-------|----|
| CO <sub>2</sub> 排出量[t-C/編成] | 1,964 | 1,244 | 8  |

ライフタイム：20年

表8 各代替交通機関の走行（飛行）によるCO<sub>2</sub>排出量

| 交通機関 | CO <sub>2</sub> 排出量[g-C/人 km] | 出典                          |
|------|-------------------------------|-----------------------------|
| 高速鉄道 | 11.7                          | 鉄道総研報告 <sup>10)</sup><br>参照 |
| 新幹線  | 3.9                           |                             |
| 航空機  | 34.0                          | ANA, JAS への<br>ヒヤリング        |
| 高速バス | 7.5                           |                             |
| 乗用車  | 31.7                          | 東京都環境保全局<br>排出係数より算出        |

表9 構造種別の延長と駅数の設定

| 高架橋   | トンネル  | 土構造  | 合計    | 地上駅 | 地下駅 |
|-------|-------|------|-------|-----|-----|
| 120km | 300km | 80km | 500km | 6駅  | 3駅  |

ELC-CO<sub>2</sub> : 2,314[ 万 t-C/60 年]

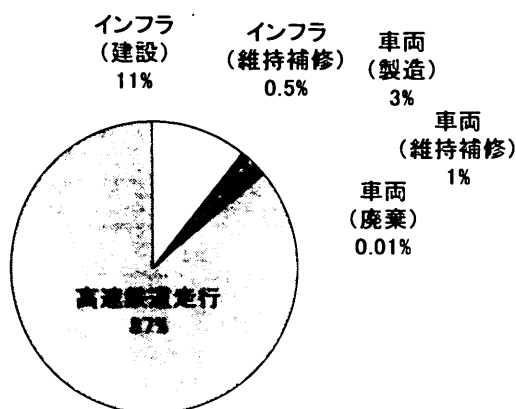


図 26 磁気浮上式超高速鉄道システムの ELC-CO<sub>2</sub> 概算結果

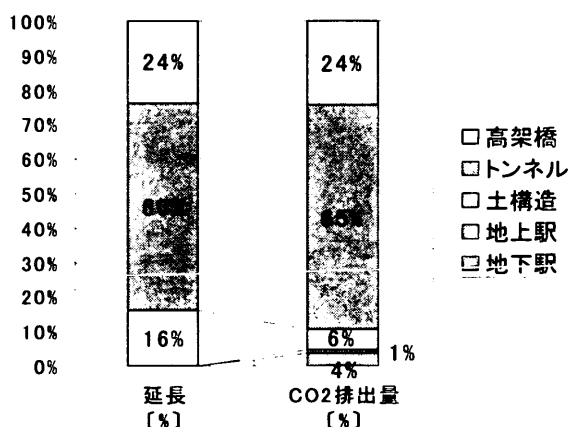


図 27 構造物の延長と CO<sub>2</sub> 排出量の関係

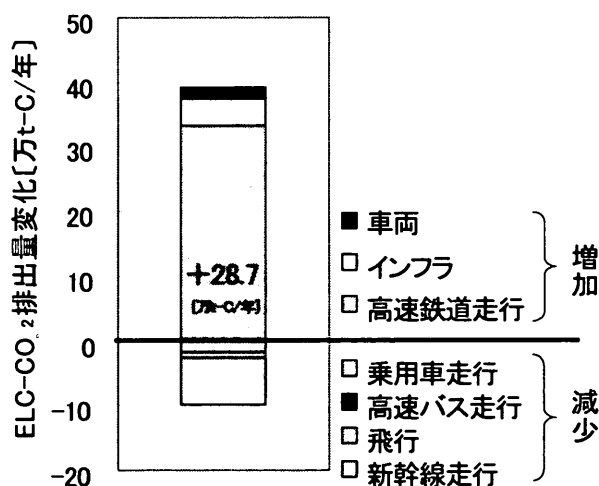


図 28 磁気浮上式超高速鉄道へのシフトによる ELC-CO<sub>2</sub> の変化

表 10 交通機関分担の変化の仮定[人 km]

|      |      |
|------|------|
| 新幹線  | 45%減 |
| 航空機  | 10%減 |
| 高速バス | 8%減  |
| 乗用車  | 7%減  |

参考：時田ら(2002)<sup>18)</sup>

(iv) 高速鉄道へのシフトによる ELC-CO<sub>2</sub> 排出量変化

リニア中央エクスプレスの開業とともに代替交通機関の走行が減少するため、時田らによる需要予測の結果<sup>18)</sup>を用いて、交通機関分担が表 10 のように変化すると仮定した。その結果、ELC-CO<sub>2</sub> 排出量は図 28 のように変化することが推計された。正の部分が図 27 を年当たり直したものの、負の部分が代替交通機関の走行減少分にあたる。合わせると、約 29.7[万 t-C/年]の増加、すなわち、整備前と比べて 59%増加という結果になった。

e) まとめ

以上、磁気浮上式超高速鉄道を CO<sub>2</sub> 排出の面から LCA 的に評価するために、各構成要素について設定した標準モデルの CO<sub>2</sub> 排出量原単位を整備し、ELC-CO<sub>2</sub> の概算を行った。さらに、開業による利用者シフトに伴う CO<sub>2</sub> 排出量変化を検証し、代替交通機関の走行減少分では、高速鉄道整備による排出分を相殺できないことが分かった。

磁気浮上式高速鉄道整備の LCA においては、代替交通機関との機能面の違いを考慮した比較、誘発需要の評価の考え方、需要予測のブレによる感度分析といった様々な課題があり、今後引き続き取り組んでいく必要がある。

#### 4. 本研究により得られた成果

これまでの研究により、交通需要の地域特性に適合した輸送機関の環境効率評価と需要に適合した普及促進策を検討するための基礎となるモデル、評価法、シナリオを得ることができた。具体的には、自動車用燃料選択の検討に用いられる Well to wheel 分析について、文献や評価者によって異なるエネルギー供給パスを調査することにより、Well to wheel 分析で対象とするエネルギー変換プロセスの枠組みを決定すると共に、想定される技術や対象とする地域の社会的・地理的要因に大きく依存する各エネルギー変換プロセスにおける入出力データを調査した。また多岐に渡るデータのハンドリングと、Well to wheel 分析を容易に行うための環境効率解析ツールを構築した。地域特性の異なる類型ごとに施策の効果を明らかにするため、地域特性を反映したトリップ・エネルギーを求め、停留所の立地を改善することで徒歩圏人口を改善できることを定量的に示した。さらに、新規交通インフラ整備に伴う CO<sub>2</sub> 排出量変化の評価を、従来の LCA における評価範囲を拡張した ELCEL (走行+車両+インフラ) で行うための考え方を整理し、さらに a) 地域内、b) 地域間旅客輸送機関を対象とした試算を実施した。地域内旅客輸送機関に関しては交通需要、車両性能・仕様、鉄軌道整備計画、運行計画といった、計画段階で予測・想定されるさまざまな変数を考慮した評価が可能なモデルを構築し、鉄軌道整備計画を CO<sub>2</sub> の観点から LCA 的に評価する簡便なツールとしての利用を可能としている。また、地域間旅客輸送機関に関しては、具体的な設計が未着手の計画段階におけるモード・ルート代替案検討に適用可能な簡略 LCA 手法を開発し、必要な原単位の整備を行うことができた。

#### 5. 引用文献

- 1) 石谷久、馬場康子、小林紀：各種燃料による燃料電池自動車(FCEV)の総合効率評価、エネルギー・資源、Vol.21 No.5、2000。
- 2) 輸送用燃料ライフサイクルインベントリーに関する調査報告書－燃料電池車と既存自動車の比較－：財団法人石油産業活性化センター、平成 14 年 3 月
- 3) 本藤祐樹、内山洋二、森泉由恵：ライフサイクル CO<sub>2</sub> 排出量による発電技術の評価－最新データによる再推計と前提条件の違いによる影響－：財団法人電力中央研究所 研究報告：Y99009、平成 12 年 3 月
- 4) 山田竜也、尹性二、十市勉：我が国における化石エネルギーに関するライフサイクルインベントリー分析、財団法人日本エネルギー経済研究所 第 353 回定例研究報告会資料、1999
- 5) General Motors Corporation, Argonne National Laboratory, BP, ExxonMobil and Shell: Well?to?Wheel Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel / Vehicle Systems ? North American Analysis ?, June 2001.
- 6) L-B-Systemtechnik GmbH: GM Well?to?Wheel analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel / Vehicle Systems ? A European Study, September 2002
- 7) Ecotrafic ERD AB: Well?to?Wheel Efficiency for Alternative Fuels from Natural Gas or Biomass, October 2001.
- 8) 岩渕省・四宮明宣・中嶋芳紀・松本亨・井村秀文：地下鉄整備のライフサイクル環境負荷に関する研究、環境システム研究 No.25、pp.209-216、1997。
- 9) 盛岡通：土木建設システムにおける LCA の考え方と事例、第 4 回地球環境シンポジウム講演集、pp.29-34、1996。

- 10) 加藤博和：交通整備による環境インパクト計測手法としてのライフ・サイクル・アセスメント、交通工学 Vol.33 No.3、pp.81-86、1998.
- 11) 中村英樹・加藤博和・丸田浩史・二村達：都市間高速道路の横断面構成の相違による CO<sub>2</sub> 排出量のライフサイクル評価、環境システム研究 No.26、pp.261-270、1998.
- 12) 松橋啓介・森口祐一・近藤美則：都市内交通手段としての路面電車に関するライフサイクル評価、第14回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集、pp.67-72、1998.
- 13) 近藤美則・森口祐一：産業連関表による二酸化炭素排出原単位、国立環境研究所地球環境研究センターレポート、1997.
- 14) 東京都環境保全局：車種別速度別排出係数、都内自動車走行量及び自動車排出ガス量算出調査報告書、1996.
- 15) 日本鉄道建設公団関東支社・財団法人運輸政策研究機構：平成13年度 環境からみた鉄道整備効果に関する調査報告書、p146、2002.
- 16) 財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道総研報告 第16巻 第10号、p45、2002.
- 17) 辻村太郎：新幹線0系/300系、LCA日本フォーラムセミナー“LCA調査結果のインタープリテーション”、2001.
- 18) 時田知典・森川高行・倉内慎也・姚恩建：統合型需要モデルを用いた高速鉄道プロジェクトの需要分析、土木計画学研究・講演集、Vol.25、2002.

## 6. 国際共同研究等の状況

経済協力開発機構（OECD）環境政策委員会／環境に持続可能な都市交通（EST, Environmentally Sustainable Transport）プロジェクト 交通と環境に関する名古屋国際会議 日本版ケーススタディーの作成に携わった。

## 7. 研究成果の発表状況

### （1）誌上発表（学術誌・書籍）

<学術誌（査読あり）>

- 1) 松橋啓介：大都市圏の地域別トリップ・エネルギーから見たコンパクト・シティに関する考察、都市計画論文集、35、pp.469-474、2000.
- 2) 松橋啓介：公共交通機関の停留所の立地が徒歩アクセスと潜在的利用人口に与える影響、都市計画論文集、37、pp.157-162、2002.
- 3) Y.Hayashi, H.Kato, R.V.R.Teodoro: A model system for the assessment of the effects of car and fuel green taxes on CO<sub>2</sub> emission, Transportation research partD, Vol.6, pp.123-139, 2001.1
- 4) 加藤博和、大浦雅幸：新規鉄軌道整備による CO<sub>2</sub> 排出量変化のライフ・サイクル評価手法の開発、土木計画学研究・論文集 No.17、pp.471-479、2000.10
- 5) 加藤博和：交通分野へのライフサイクルアセスメント適用、IATSS Review, Vol.26, No.3, pp.55-62, 2001.6

<学術誌（査読なし）>

- 1) 松橋啓介、森口祐一：基本単位区別集計データを用いた沿道人口分布の詳細な推計、GIS-理

論と応用、8(1)、pp.115-120、2000.

- 2) 松橋啓介、森口祐一：交通からの環境負荷の少ない都市のあり方、都市計画、244、2003。(掲載予定)
- 3) 加藤博和、林良嗣、大浦雅幸：新規交通施設整備に伴う環境負荷変化の LCA に基づいた評価モデル、土木学会第 28 回環境システム研究論文発表会講演集、pp.131-138、2000.
- 4) 林良嗣、加藤博和、大浦雅幸、北野恭央、喜代永さち子：社会資本・住宅ストックに起因した多種環境負荷の LCA に基づいた評価手法、土木計画学研究・講演集 No.23(1)、pp.235-238、2000.
- 5) 加藤博和、林良嗣、喜代永さち子、北野恭央：都市の環境マネジメントのためのインパクト評価システム開発、土木計画学研究・講演集 No.24(1)、pp.661-664、2001.

#### <書籍>

- 1) 井村秀文編著(林良嗣・加藤博和ほか著)：建設の LCA、オーム社、2001.

#### <報告書類等>

なし

#### (2) 口頭発表

- 1) 松橋啓介：公共交通機関の停留所立地が徒歩圏人口に与える影響に関する研究、第 26 回土木計画学研究発表会、盛岡 2002.11.
- 2) H.Kato, Y.Hayashi, Y.Kitano: A Cohort LCA Model System for Estimation of Environmental Load due to Restructuring Urban Space, Presented at 9th World Conference on Transport Research, Seoul, 2001.
- 3) Y.Hayashi, H.Kato, R.V.R.Teodoro: A Comparison of the Effects of Car and Fuel Taxes on CO<sub>2</sub> Reduction in Developed Countries, Presented at 9th World Conference on Transport Research, Seoul, 2001.

#### (3) 出願特許

なし

#### (4) 受賞等

日本都市計画学会論文奨励賞 松橋啓介(2002.5.24)

「環境共生都市の都市空間形態に関する研究」

#### (5) 一般への公表・報道等

特になし

## 8. 成果の政策的な寄与・貢献について

公共交通整備を環境面から評価するための標準的手法として、実務の局面に導入を図っていくため、日本鉄道建設公団・鉄道技術総合研究所・運輸政策研究所と情報交換や討議を行い、本研究において開発した手法の検討を続けており、次年度以降は共同研究として発展させることも予定している。さらに、京都メカニズムにおける CDM/JI 事業の評価に適用する可能性についても検討している。一方、交通手段の環境効率評価モデル・ツールについては、経済産業省の JHFC 実証試験「総合効率検討特別委員会」ワーキンググループにおける評価ツールとしての利用が検討されている。また、本ツールは、今後低公害車等の導入評価を検討している自治体等の政策担当者への提供を考えている。

[illegible]

付図 1 石炭起源の Well to wheel パス

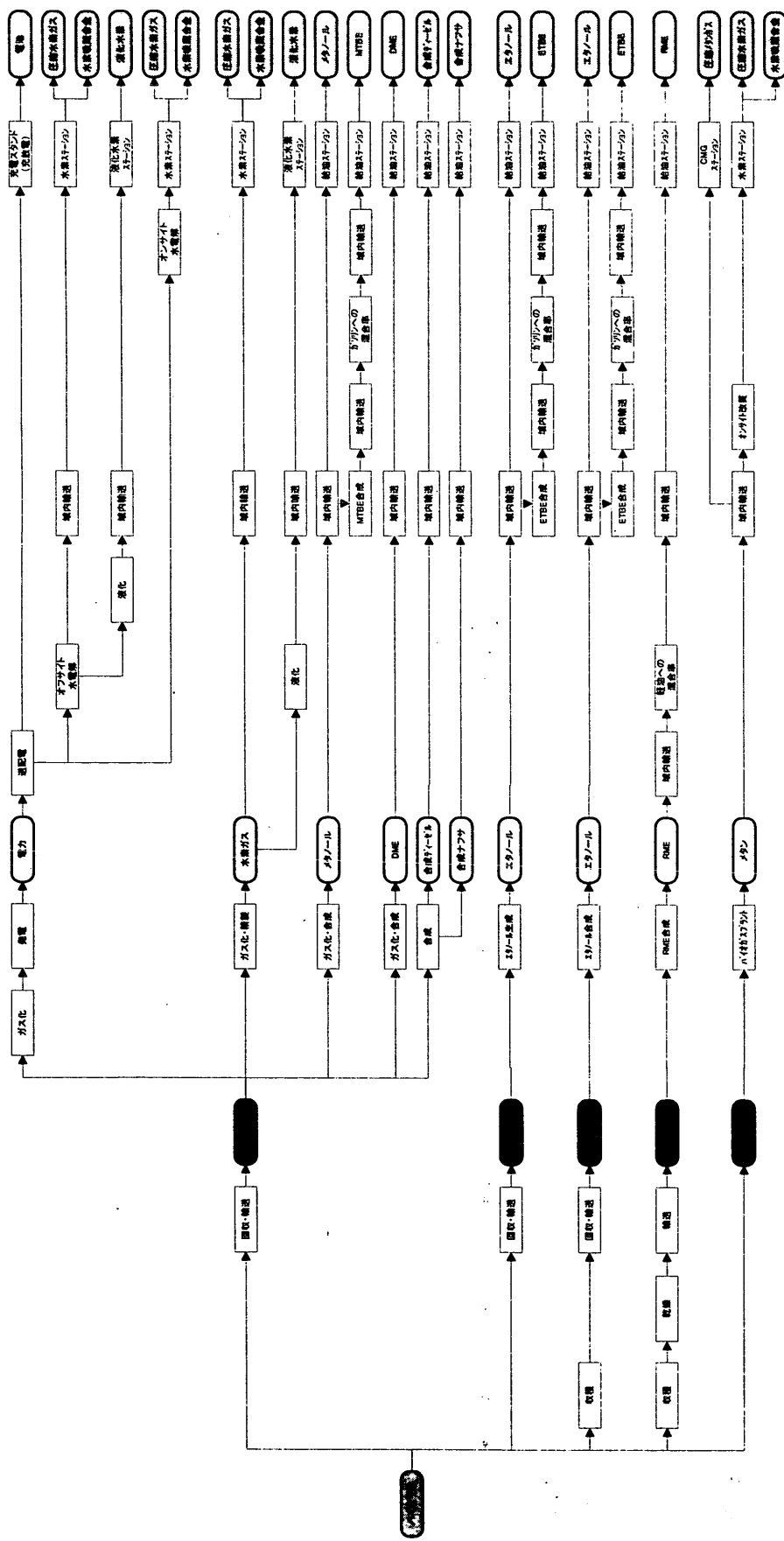












付図 6 バイオマス起源の Well to wheel バス

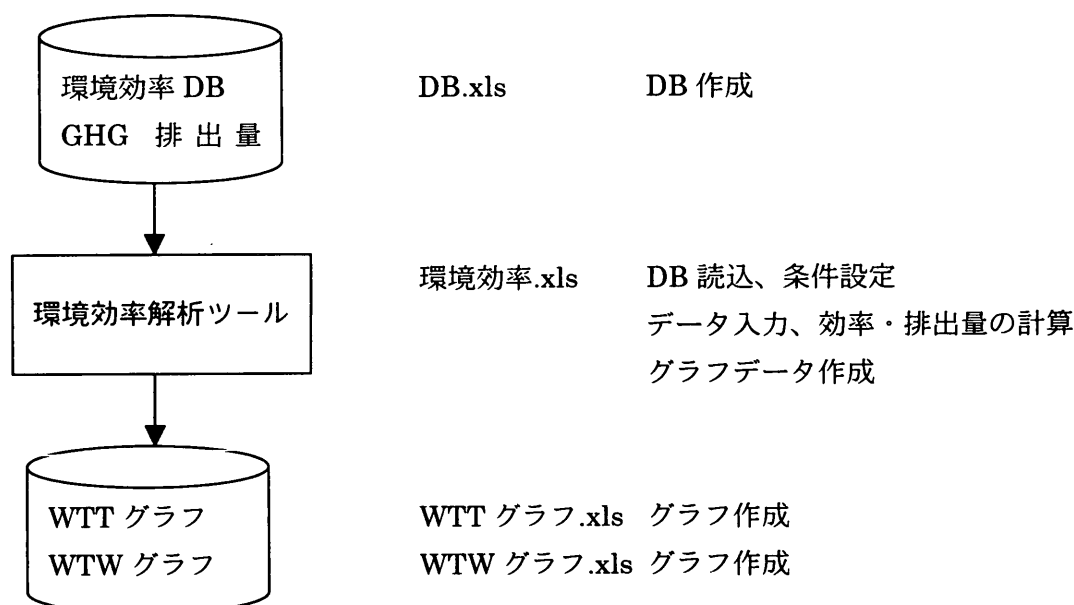
## 付録 2 環境効率解析ツールの詳細

### 1. 全体図

本システムで使用するエクセルファイルは DB.xls、環境効率.xls、WTT グラフ.xls、WTW グラフ.xls の 4 ファイルである。

環境効率.xls は起動ファイル、DB.xls は入力用ファイル、WTT グラフ.xls と WTW グラフ.xls は出力用ファイルである。

ファイルの関連図を以下に示す。



実行環境の OS は Windows98 以上、アプリケーションソフトは Excel2000 以上である。

### 2. 事前準備

#### 2. 1 データベースの概要

収集したデータを「エネルギー形態(前)」から「エネルギー形態(後)」へ属する「プロセス」に分類する。そのプロセスのエネルギー変換効率または GHG 排出量、参考文献名をデータ項目とする。また、4 分類されている地域特性も付加する。

なお、エネルギー変換効率と GHG 排出量は別々のデータベースとして設定する。

#### 2. 2 データベースの説明

データベースの作成で必要な項目を以下の表に示す。

データベースの項目（エネルギー変換効率）

| フィールド名     | データの型 | 内容            |
|------------|-------|---------------|
| 矢印         | 文字列   | 初期画面でのオブジェクト名 |
| エネルギー形態（前） | 文字列   | 変換前のエネルギーの形態  |
| エネルギー形態（後） | 文字列   | 変換前のエネルギーの形態  |
| プロセス名      | 文字列   | 変換プロセスの名前     |
| 変換効率       | 数値    | 変換効率（％）       |
| 効率文献名      | 数値    | 引用文献名         |
| 地域フラグ      | 数値    | 地域フラグ（1 to 4） |

データベースの項目（GHG 排出量）

| フィールド名     | データの型 | 内容            |
|------------|-------|---------------|
| 矢印         | 文字列   | 初期画面でのオブジェクト名 |
| エネルギー形態（前） | 文字列   | 変換前のエネルギーの形態  |
| エネルギー形態（後） | 文字列   | 変換前のエネルギーの形態  |
| プロセス名      | 文字列   | 変換プロセスの名前     |
| GHG 排出量    | 数値    | GHG 排出量       |
| GHG 文献名    | 数値    | 引用文献名         |
| 地域フラグ      | 数値    | 地域フラグ（1 to 4） |

## 2. 2 データの作成

本システムで使用するデータは別ファイルの EXCEL のシートに 2.2 の項目内容に従って作成する。1 行目にはデータ項目名を入力し、2 行目以降にデータを格納する。

矢印、エネルギー形態（前）、エネルギー形態（後）、プロセス名の各欄は固定である。変換効率/GHG 排出量、効率文献名/GHG 文献名、地域フラグ、備考は利用者が入力する。

エネルギー変換効率データベースの例

| 矢印                        | エネルギー<br>形態（前） | エネルギー<br>形態（後） | プロセス名 | 変換効率 | 効率<br>文献名 | 地域<br>フラグ | 備考 |
|---------------------------|----------------|----------------|-------|------|-----------|-----------|----|
| p バイオマスから<br>e リグノセルロース資源 |                | リグノセル<br>ロース資源 | 回収・輸送 | 1.00 | 文献 A      | 1         |    |
| p バイオマスから<br>e サトウキビ      | バイオマス          | サトウキビ          | 収穫    | 1.00 | 文献 B      | 1         |    |
| p バイオマスから<br>e サトウキビ      | バイオマス          | サトウキビ          | 回収・輸送 | 1.00 |           | 1         |    |
| ≈                         |                |                |       |      |           |           | ≈  |
| p バイオマスから<br>e リグノセルロース資源 | バイオマス          | リグノセル<br>ロース資源 | 回収・輸送 | 1.00 | 文献 A      | 2         |    |
| p バイオマスから<br>e サトウキビ      | バイオマス          | サトウキビ          | 収穫    | 1.00 | 文献 B      | 2         |    |
| p バイオマスから<br>e サトウキビ      | バイオマス          | サトウキビ          | 回収・輸送 | 1.00 |           | 2         |    |
| ≈                         |                |                |       |      |           |           | ≈  |
| p バイオマスから<br>e リグノセルロース資源 | バイオマス          | リグノセル<br>ロース資源 | 回収・輸送 | 1.00 | 文献 A      | 3         |    |
| p バイオマスから<br>e サトウキビ      | バイオマス          | サトウキビ          | 収穫    | 1.00 | 文献 B      | 3         |    |
| p バイオマスから<br>e サトウキビ      | バイオマス          | サトウキビ          | 回収・輸送 | 1.00 |           | 3         |    |
| ≈                         |                |                |       |      |           |           | ≈  |

エネルギー変換効率データベースの例（続き）

| 矢印                        | エネルギー<br>形態（前） | エネルギー<br>形態（後） | プロセス名 | 変換効率 | 効率<br>文献名 | 地域<br>フラグ | 備考 |
|---------------------------|----------------|----------------|-------|------|-----------|-----------|----|
| p バイオマスから<br>e リグノセルロース資源 | バイオマス          | リグノセル<br>ロース資源 | 回収・輸送 | 1.00 | 文献 A      | 4         |    |
| p バイオマスから<br>e サトウキビ      | バイオマス          | サトウキビ          | 収穫    | 1.00 | 文献 B      | 4         |    |
| p バイオマスから<br>e サトウキビ      | バイオマス          | サトウキビ          | 回収・輸送 | 1.00 |           | 4         |    |
|                           |                |                |       |      |           |           |    |

矢印、エネルギー形態（前）、エネルギー形態（後）、プロセス名、地域フラグが同じで  
変換効率/GHG 排出量や効率文献名/GHG 文献名が異なるデータが存在する場合は、その行を  
コピーして変換効率/GHG 排出量や効率文献名/GHG 文献名のデータを入力する。

複数の変換効率がある場合のデータベースの例

| 矢印          | エネルギー<br>形態（前） | エネルギー<br>形態（後） | プロセス名 | 変換効率 | 効率<br>文献名 | 地域<br>フラグ | 備考 |
|-------------|----------------|----------------|-------|------|-----------|-----------|----|
|             |                |                |       |      |           |           |    |
| p 石炭から e 石炭 | 石炭             | 石炭             | 採掘    | 1.00 | 文献 A      | 1         |    |
| p 石炭から e 石炭 | 石炭             | 石炭             | 採掘    | 0.90 | 文献 B      | 1         |    |
| p 石炭から e 石炭 | 石炭             | 石炭             | 採掘    | 0.80 | 文献 C      | 1         |    |
| p 石炭から e 石炭 | 石炭             | 石炭             | 採掘    | 0.70 | 文献 D      | 1         |    |
| p 石炭から e 石炭 | 石炭             | 石炭             | 採掘    | 0.60 | 文献 E      | 1         |    |
| p 石炭から e 石炭 | 石炭             | 石炭             | 輸送    | 1.00 | 文献 F      | 1         |    |
| p 石炭から e 石炭 | 石炭             | 石炭             | 輸送    | 0.90 | 文献 G      | 1         |    |
| p 石炭から e 石炭 | 石炭             | 石炭             | 輸送    | 0.80 | 文献 H      | 1         |    |
| p 石炭から e 石炭 | 石炭             | 石炭             | 輸送    | 0.70 | 文献 I      | 1         |    |
| p 石炭から e 石炭 | 石炭             | 石炭             | 輸送    | 0.60 | 文献 J      | 1         |    |
|             |                |                |       |      |           |           |    |



### 3. 操作手順

#### 3. 1 プログラムの起動と終了

「環境効率解析ツール」システムを起動する方法は

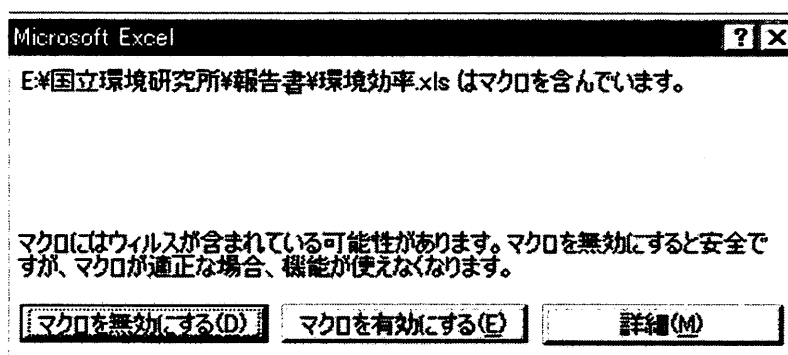
(1)「環境効率.xls」ファイルをエクスプローラからダブルクリックする

(2)Excel を立ち上げてから「環境効率.xls」ファイルを開く

のいずれかである。

マクロを含んでいるため、以下のような画面が表示される。ここでは「マクロを有効にする」をクリックする。

マクロ確認の画面



初期画面が表示される。

初期画面

「環境効率解析ツール」システムを終了する場合、普通のエクセルファイルと同様の操作で閉じる。

### 3. 2 DB の読み込み

DB が更新などにより内容が変更されている場合は、そのデータをこのシステムに取り込む必要がある。初期場面の上部に表示されている外部 DB ファイル名のオレンジ色のセルに読み込むファイル名を入力し「外部 DB の読み込み」ボタンをクリックすると、シート「環境効率 DB」と「GHG 排出量 DB」にコピーされる。

外部 DB ファイル名の指定と「外部 DB の読み込み」ボタン

| 外部DBファイル名 |
|-----------|
|           |

|           |
|-----------|
| 外部DBの読み込み |
|-----------|

### 3. 3 実行条件設定

地域選択は以下の 4 地域から 1 つを選択する。

- ・エネルギー資源小、自動車需要大
- ・エネルギー資源多、自動車需要大
- ・エネルギー資源小、自動車需要小
- ・エネルギー資源多、自動車需要小

Primary Stock はバイオマス、石炭、天然ガス、石油随伴ガス、太陽光、原子力等、原油から 1 つを選択する。

計算対象項目はエネルギー変換効率か GHG 排出量を選択する。

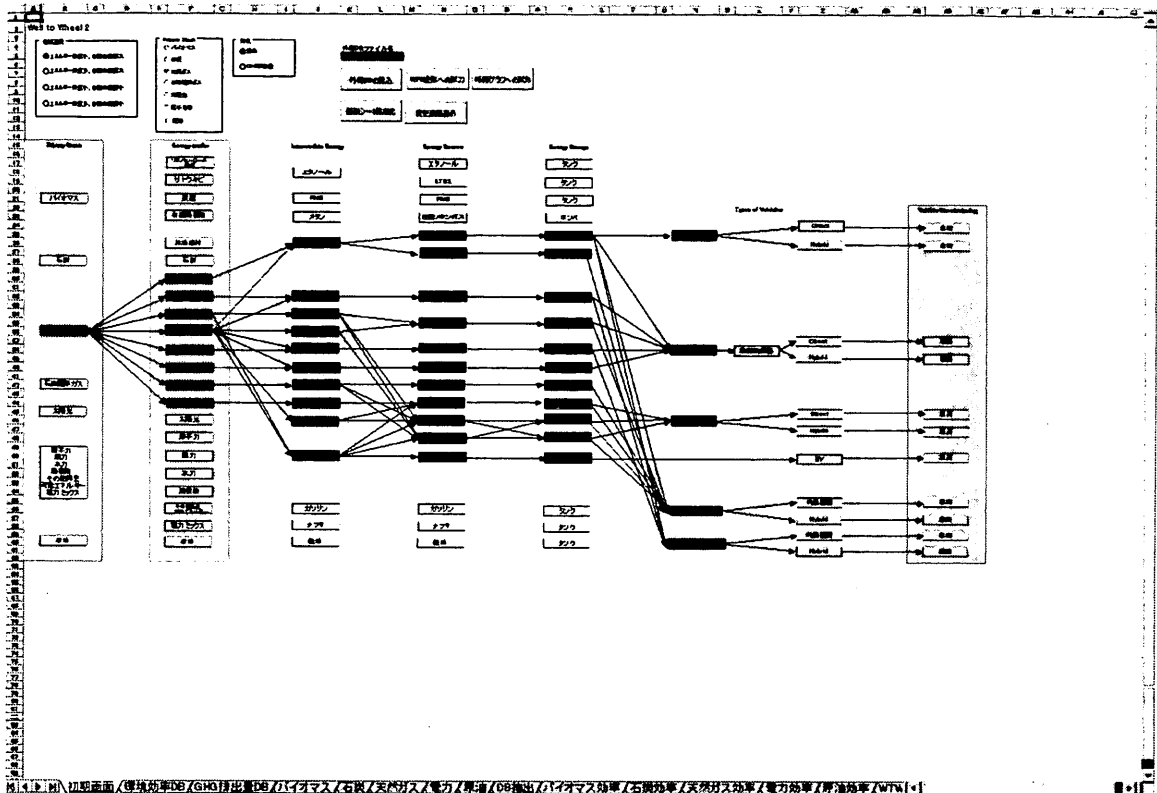
初期画面の左上に表示されている条件設定項目をオプションボタン（ラジオボタン）によりそれぞれ 1 つを選択する。

条件設定の画面

| Well to Wheel 2                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div>地域選択</div> <div><input type="radio"/> エネルギー資源小、自動車需要大</div> <div><input type="radio"/> エネルギー資源多、自動車需要大</div> <div><input checked="" type="radio"/> エネルギー資源小、自動車需要小</div> <div><input type="radio"/> エネルギー資源多、自動車需要小</div> | <div>Primary Stock</div> <div><input type="radio"/> バイオマス</div> <div><input type="radio"/> 石炭</div> <div><input type="radio"/> 天然ガス</div> <div><input type="radio"/> 石油随伴ガス</div> <div><input type="radio"/> 太陽光</div> <div><input checked="" type="radio"/> 原子力等</div> <div><input type="radio"/> 原油</div> | <div>対象</div> <div><input type="radio"/> 効率</div> <div><input checked="" type="radio"/> GHG排出量</div> |

### 3. 4 条件設定結果

選択された Primary Stock に関するボックスが赤色で表示され、関係するアローも表示される。次ページ以降に全ての Primary Stock について表示内容の一例を示す。



### 3. 5 エネルギー変換効率および GHG 排出量の入力

Primary Stock から Energy Storage まではアローをクリックすることによりエネルギー変換効率の入力画面が表示される。また、Vehicle 関連では水色のボックスをクリックすることによりエネルギー変換効率の入力画面が表示される。

バイオマスからエネルギーセルロス資源

地域

対象

回収・輸送

値

文献

エネルギー変換効率の入力画面（プロセス数が1）

地域、対象は条件設定で指定した項目が表示され、また文献は DB から参照した内容が表示されている。これらの内容は入力不可となっている。ここで入力できるのは値だけである。

上記の例はプロセス数が 1 の場合であるが、複数ある場合はその数だけ表示され入力することになる。

ダイアログボックス: p石炭からe石炭

地域: エネルギー資源小・自動車需要大

対象: 効率

採掘

値: 0.9

文献: 文献B

輸送

値: 0.9

文献: 文献G

閉じる

エネルギー変換効率の入力画面（プロセス数が複数）

また、1つのプロセスについて複数の選択する値がある場合にはコンボボックスの▼をクリックして一覧を表示させてその中から選択する。

ダイアログボックス: p石炭からe石炭

地域: エネルギー資源小・自動車需要大

対象: 効率

採掘

値: 0.9 ▼

文献: 文献B

輸送

値: 0.9 ▼

文献: 文献G

閉じる

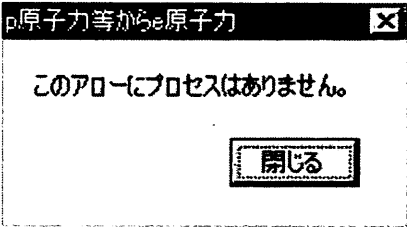
値のリスト:

|      |     |
|------|-----|
| 1.00 | 文献A |
| 0.90 | 文献B |
| 0.80 | 文献C |
| 0.70 | 文献D |
| 0.60 | 文献E |

エネルギー変換効率の入力画面（選択数値が複数）

選択したアローにプロセスが存在しない場合は以下の画面が表示される。

プロセスが存在しない場合の入力画面



3. 6 入力データと計算シート

入力されたデータは関連するシートのセルとリンクしているため、入力画面で「閉じる」ボタンをクリックした時にそれぞれのセルに代入される。また、入力画面が表示される時、リンクしているセルに入っているデータが表示される。

計算シート（途中のプロセス）

| 回収・輸送 | リグノセルロース資源 |
|-------|------------|
| 1.000 | 1.000      |
| 0.000 | 0.000      |

3. 7 個別シート初期化

個別計算シートの内容を配布時の状態に戻す場合、初期場面の上部に表示されている「個別シート初期化」ボタンをクリックする。

なお、配布時の状態とはエネルギー変換効率が全て1で、GHG 排出量が全て0であることを意味する。

「個別シート初期化」ボタン



3. 8 変更履歴表示

環境効率解析ツールを起動した時の個別計算シートの内容と現在の内容の比較する場合、初期場面の上部に表示されている「変更履歴表示」ボタンをクリックする。

「変更履歴表示」ボタン



変更履歴内容はシート「チェック」に出力される。A 列はシート名、B 列は行数、C 列は列数、D 列はセル、E 列は初期の内容、F 列は現在の内容である。セルの内容が数式の場合はその数式が表示される。その例を以下に示す。

変更履歴内容の例

| シート名  | 行 | 列 | セル | 初期 | 現在     |
|-------|---|---|----|----|--------|
| バイオマス | 3 | 3 | C3 |    | 99     |
| バイオマス | 3 | 6 | F3 |    | =A3+C3 |

4. 計算結果

4. 1 計算シート結果

「Energy carrier」、「Intermediate Energy」、「Energy Source」、「Energy Storage」及び「効果効果(合計)」ではエネルギー変換効率と GHG 排出量をセルに記述されている数式により算出する。

計算シート（最終のプロセス）

|          |             |       |       |
|----------|-------------|-------|-------|
| 充電スタンド   | EV          | 車両製造比 | 合計    |
| 1.000    | 1.000       | 1.000 | 1.000 |
| 0.000    | 0.000       | 0.000 | 0.000 |
| 水素ステーション | FCEV Direct | 車両製造比 | 合計    |
|          | 1.000       | 1.000 | 1.000 |
|          | 0.000       | 0.000 | 0.000 |
|          | FCEV Hybrid | 車両製造比 | 合計    |
|          | 1.000       | 1.000 | 1.000 |
|          | 0.000       | 0.000 | 0.000 |
|          | Otto ICE    | 車両製造比 | 合計    |
|          | 1.000       | 1.000 | 1.000 |
|          | 0.000       | 0.000 | 0.000 |
|          | Otto Hybrid | 車両製造比 | 合計    |
|          | 1.000       | 1.000 | 1.000 |
|          | 0.000       | 0.000 | 0.000 |
| 金        | FCEV Direct | 車両製造比 | 合計    |
|          | 1.000       | 1.000 | 1.000 |
|          | 0.000       | 0.000 | 0.000 |
|          | FCEV Hybrid | 車両製造比 | 合計    |
|          | 1.000       | 1.000 | 1.000 |
|          | 0.000       | 0.000 | 0.000 |
|          | Otto ICE    | 車両製造比 | 合計    |
|          | 1.000       | 1.000 | 1.000 |
|          | 0.000       | 0.000 | 0.000 |
|          | Otto Hybrid | 車両製造比 | 合計    |
|          | 1.000       | 1.000 | 1.000 |
|          | 0.000       | 0.000 | 0.000 |

#### 4. 2 グラフ用計算シート結果

各 Primary Stock の「Energy Storage」までのエネルギー変換効率の結果をグラフ表示するためのデータをシートに出力する。結果シートは「バイオマス効率」、「石炭効率」、「天然ガス効率」、「電力効率」、「原油効率」の5シートである。これらの結果は対応する計算シートの最終効率とリンクされているので、セルに自動的に値が入る。

バイオマスの場合の例を示す。

エネルギー変換効率の結果の例

| path                         | efficiency |
|------------------------------|------------|
| バイオマス→林地残材→電力→電池             | 1.000      |
| バイオマス→林地残材→電力→圧縮水素ガス         | 1.000      |
| バイオマス→林地残材→電力→水素吸蔵合金         | 1.000      |
| バイオマス→林地残材→電力→液化水素           | 1.000      |
| バイオマス→林地残材→電力→オンサイト圧縮水素ガス    | 1.000      |
| バイオマス→林地残材→電力→オンサイト水素吸蔵合金    | 1.000      |
| バイオマス→林地残材→水素ガス→圧縮水素ガス       | 1.000      |
| バイオマス→林地残材→水素ガス→水素吸蔵合金       | 1.000      |
| バイオマス→林地残材→水素ガス→液化水素         | 1.000      |
| バイオマス→林地残材→メタノール→メタノール       | 1.000      |
| バイオマス→林地残材→メタノール→MTBE        | 1.000      |
| バイオマス→林地残材→DME→DME           | 1.000      |
| バイオマス→林地残材→合成ディーゼル→合成ディーゼル   | 1.000      |
| バイオマス→林地残材→合成ナフサ→合成ナフサ       | 1.000      |
| バイオマス→リグノセルロース資源→エタノール→エタノール | 1.000      |
| バイオマス→リグノセルロース資源→エタノール→ETBE  | 1.000      |
| バイオマス→サトウキビ→エタノール→エタノール      | 1.000      |
| バイオマス→サトウキビ→エタノール→ETBE       | 1.000      |
| バイオマス→菜種→RME→RME             | 1.000      |
| バイオマス→有機廃棄物→メタン→圧縮メタンガス      | 1.000      |
| バイオマス→有機廃棄物→メタン→圧縮水素ガス       | 1.000      |
| バイオマス→有機廃棄物→メタン→水素吸蔵合金       | 1.000      |



また、同様に Well to Wheel 全体の結果もシートに出力する。このときに efficiency を昇順に並べる。efficiency を昇順にすることは自動ではできないので、初期場面の上部に表示されている「WTW 全体への出力」ボタンをクリックすることで、シート「WTW 全体」に出力される。

「WTW 全体への出力」ボタン



Well to Wheel 全体の結果の例を示す。

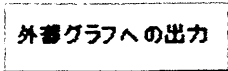
Well to Wheel 全体の結果の例

| path                                | efficiency |
|-------------------------------------|------------|
| バイオマス→有機廃棄物→メタン→圧縮メタンガス→Otto ICE    | 0.590      |
| バイオマス→有機廃棄物→メタン→圧縮メタンガス→Otto Hybrid | 0.590      |
| 天然ガス→天然ガス→NG→CNG→Otto ICE           | 0.590      |
| 天然ガス→天然ガス→NG→CNG→Otto Hybrid        | 0.590      |
| 原子力→原子力→電力→オンサイト圧縮水素ガス→FCEV Direct  | 0.531      |
| 原子力→原子力→電力→オンサイト圧縮水素ガス→FCEV Hybrid  | 0.531      |
| 原子力→原子力→電力→オンサイト圧縮水素ガス→Otto ICE     | 0.531      |
| 原子力→原子力→電力→オンサイト圧縮水素ガス→Otto Hybrid  | 0.531      |
| 太陽光→太陽光→電力→オンサイト水素吸蔵合金→FCEV Direct  | 0.531      |
| 太陽光→太陽光→電力→オンサイト水素吸蔵合金→FCEV Hybrid  | 0.531      |
| 太陽光→太陽光→電力→オンサイト水素吸蔵合金→Otto ICE     | 0.531      |
| 太陽光→太陽光→電力→オンサイト水素吸蔵合金→Otto Hybrid  | 0.531      |
| 石炭→石炭→電力→電池→EV                      | 0.478      |
| 天然ガス→天然ガス→電力→電池→EV                  | 0.478      |
| 天然ガス→天然ガス→メタノール→メタノール→Diesel ICE    | 0.478      |
| 天然ガス→天然ガス→メタノール→メタノール→Diesel Hybrid | 0.478      |

#### 4. 3 外部グラフへの出力

グラフ用に出力された計算結果を WTT グラフ.xls および WTW グラフ.xls に出力する場合、初期場面の上部に表示されている「外部グラフへの出力」ボタンをクリックする。

「外部グラフへの出力」ボタン



## 5. シートの説明

本システムで使用する各 EXCEL ファイルに含まれるシートの内容は以下の通りである。

### (1) 環境効率.xls のシート名

| シート名       | 概要                          | 表示状態 |
|------------|-----------------------------|------|
| 初期画面       | 条件設定、データ入力の初期画面             | 表示   |
| 環境効率 DB    | エネルギー変換効率のデータ               | 表示   |
| GHG 排出量 DB | GHG 排出量のデータ                 | 表示   |
| ボックス一覧     | 各 Primary Stock のエネルギー形態一覧  | 非表示  |
| 矢印一覧       | 各 Primary Stock のパス一覧       | 非表示  |
| プロセス一覧     | 各パスのプロセス一覧                  | 非表示  |
| バイオマス      | バイオマスの計算シート                 | 表示   |
| 石炭         | 石炭の計算シート                    | 表示   |
| 天然ガス       | 天然ガスの計算シート                  | 表示   |
| 電力         | 電力の計算シート                    | 表示   |
| 原油         | 原油の計算シート                    | 表示   |
| DB 抽出      | 入力データの抽出                    | 非表示  |
| バイオマス効率    | バイオマスの Energy Storage までの効率 | 表示   |
| 石炭効率       | 石炭の Energy Storage までの効率    | 表示   |
| 天然ガス効率     | 天然ガスの Energy Storage までの効率  | 表示   |
| 電力効率       | 電力の Energy Storage までの効率    | 表示   |
| 原油効率       | 原油の Energy Storage までの効率    | 表示   |
| WTW 全体     | Well to Wheel の全パスの最終効率     | 表示   |
| チェック       | 変更履歴結果の内容                   | 表示   |
| バイオマス org  | 配布時のバイオマスの計算シート             | 非表示  |
| 石炭 org     | 配布時の石炭の計算シート                | 非表示  |
| 天然ガス org   | 配布時の天然ガスの計算シート              | 非表示  |
| 電力 org     | 配布時の電力の計算シート                | 非表示  |
| 原油 org     | 配布時の原油の計算シート                | 非表示  |
| バイオマス st   | ファイルオープン時のバイオマスの計算シート       | 非表示  |
| 石炭 st      | ファイルオープン時の石炭の計算シート          | 非表示  |
| 天然ガス st    | ファイルオープン時の天然ガスの計算シート        | 非表示  |
| 電力 st      | ファイルオープン時の電力の計算シート          | 非表示  |
| 原油 st      | ファイルオープン時の原油の計算シート          | 非表示  |

(2) DB.xls のシート名

| シート名       | 概要            |
|------------|---------------|
| 環境効率 DB    | エネルギー変換効率のデータ |
| GHG 排出量 DB | GHG 排出量のデータ   |

(3) WTT.xls のシート名

| シート名      | 概要                             |
|-----------|--------------------------------|
| 石炭グラフ     | 石炭の Energy Storage までの効率グラフ    |
| 原油グラフ     | 原油の Energy Storage までの効率グラフ    |
| 天然ガスグラフ 1 | 天然ガスの Energy Storage までの効率グラフ  |
| 天然ガスグラフ 2 | 天然ガスの Energy Storage までの効率グラフ  |
| バイオマスグラフ  | バイオマスの Energy Storage までの効率グラフ |
| 電力グラフ 1   | 電力の Energy Storage までの効率グラフ    |
| 電力グラフ 2   | 電力の Energy Storage までの効率グラフ    |
| 石炭効率      | 石炭の Energy Storage までの効率       |
| 原油効率      | 原油の Energy Storage までの効率       |
| 天然ガス効率    | 天然ガスの Energy Storage までの効率     |
| バイオマス効率   | バイオマスの Energy Storage までの効率    |
| 電力効率      | 電力の Energy Storage までの効率       |

(4) WTW.xls のシート名

| シート名    | 概要                      |
|---------|-------------------------|
| 石炭効率    | 石炭の最終効率                 |
| 原油効率    | 原油の最終効率                 |
| 天然ガス効率  | 天然ガスの最終効率               |
| 電力効率    | 電力の最終効率                 |
| バイオマス効率 | バイオマスの最終効率              |
| 全体      | Well to Wheel の全パスの最終効率 |