慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	電気自動車KAZのLCA
Sub Title	
Author	疋田, 浩一(Hkita, Koichi) 清水, 浩(Shimizu, Hiroshi) 工藤, 祐揮(Kudo, Yuki)
Publisher	慶應義塾大学産業研究所
Publication year	2002
Jtitle	KEO discussion paper. G : 『アジア地域における経済および環境の相互依存と環境保全に関する学際的研究』 (KEO discussion paper. G : "Inter-disciplinary studies for sustainable development in Asian countries"). No.G-158
JaLC DOI	
Abstract	概要KAZ(Keio Advanced Zero-emission vehicle)は、高性能・高機能な電気自動車(ElectricVehicle：EV)である。環境問題への関心が高まる中、 KAZを含め電気自動車へ寄せられる期待は大きなものである。走行時における自動車本体からのCO2排出はなく、騒音も非常に小さい。KAZの”Z”は、”Zero-emissio”の頭文字であり、確かに走行時は自動車本体からのCO2排出はない。しかしながら、LCA(Life Cycle Analysis)の観点から見ると、走行時の電気自動車といえども”Zero-emission”とはいえない。電気自動車の「燃料」にあたる電気エネルギーは、日本においては火力(石油、石炭、LNG等)・原子力・水力その他の電源から供給されているが、特に火力発電所からCO2が発生しているのである。ライフサイクルアセスメントの観点から、各種素材・製品やそれに関わるシステムの設計・評価を行うため、技術デLタの積み上げを基本として分析を行ってきたが、これに産業連関表に表現されている包括性を取り込むため、両者を融合したハイブリヅド表を作成し、これを利用してKAZの製造・走行時のCO2排出量を推計した。その結果、製造過程においてはKAZの負荷は大きく、特にリチウムイオン電池とモーターの負荷が大きいこと、走行時といえど、全くのゼロエミッションではありえないこと、走行・製造全体でEVをGVと比較すると、4～5割程度の削減効果が期待できることがわかった。さらに、EVの特性を伸ばすためには、蓄電池とモーターの小型化・軽量化による製造時負荷の削減、電池寿命の延長や積載容量の増大といった生涯走行距離をのばすための改良が重要であろう。
Notes	表紙上部に"日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業複合領域「アジア地域の環境保全」"の表示あり
Genre	Technical Report
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA12113622-00000158-0001

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

電気自動車ＫＡＺのＬＣＡ

疋田　浩一
清水　浩
工藤　祐揮

№.G－158　　学振未来 WG２－52

電気自動車ＫＡＺのＬＣＡ

疋田 浩一、清水 浩、工藤 祐揮

２００２年3月

キーワード

電気自動車, KAZ, リチウムイオン電池, 産業連関表, LCA, CO_2排出量

概要

KAZ(Keio Advanced Zero-emission vehicle)は、高性能・高機能な電気自動車(Electric Vehicle: EV)である。環境問題への関心が高まる中、KAZ を含め電気自動車へ寄せられる期待は大きなものである。走行時における自動車本体からのCO_2排出はなく、騒音も非常に小さい。KAZ の"Z"は、"Zero-emission"の頭文字であり、確かに走行時は自動車本体からのCO_2排出はない。しかしながら、LCA(Life Cycle Analysis)の観点から見ると、走行時の電気自動車といえども"Zero-emission"とはいえない。電気自動車の「燃料」にあたる電気エネルギーは、日本においては火力（石油、石炭、LNG 等）・原子力・水力その他の電源から供給されているが、特に火力発電所からCO_2が発生しているのである。

ライフサイクルアセスメントの観点から、各種素材・製品やそれに関わるシステムの設計・評価を行うため、技術データの積み上げを基本として分析を行ってきたが、これに産業連関表に表現されている包括性を取り込むため、両者を融合したハイブリッド表を作成し、これを利用して KAZ の製造・走行時のCO_2排出量を推計した。

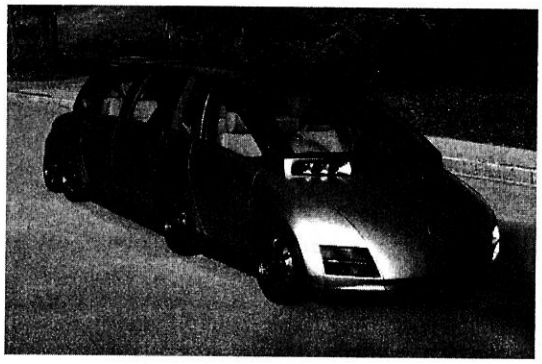
その結果、製造過程においては KAZ の負荷は大きく、特にリチウムイオン電池とモーターの負荷が大きいこと、走行時といえど、全くのゼロエミッションではありえないこと、走行・製造全体で EV を GV と比較すると、４～５割程度の削減効果が期待できることがわかった。さらに、EV の特性を伸ばすためには、蓄電池とモーターの小型化・軽量化による製造時負荷の削減、電池寿命の延長や積載容量の増大といった生涯走行距離をのばすための改良が重要であろう。

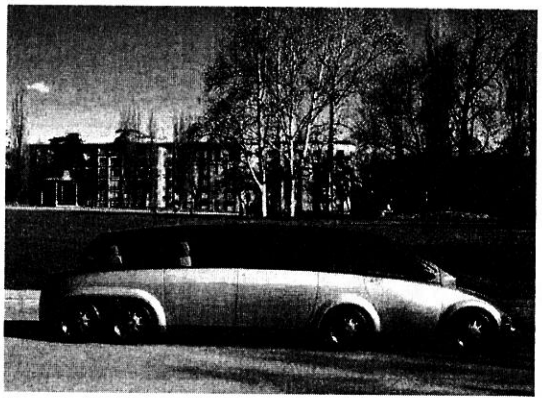
電気自動車 KAZ の LCA*

疋田浩一**、清水浩***、工藤祐揮****

1 はじめに

KAZ(Keio Advanced Zero-emission vehicle)は、従来の多目的自動車（Multi Purpose passenger Vehicle: MPV）や ICE（Internal Combustion Engines: 内燃機関）と比較して高性能かつ高機能の電気自動車(Electric Vehicle: EV)である。KAZ は最初の段階から完全に専用設計され、55kW の電気モーターを各車輪に分散させることによる利点を最大限活用した 8 輪駆動車であり、これにより従来の電気自動車の弱点であった加速力・最高速・走行距離などの問題を克服している。また、低重心・8 輪駆動の独自のサスペンションシステムにより制動性が非常によく、安全性の点からも優れている。また技術面以外でも、斬新なデザイン及び車内空間の有効活用により車としての魅力を高めている。KAZ に使われている最新の技術は、今後、乗用車・ミニバス・トラックなどさまざまな自動車に応用していくことが可能である。また、環境問題への関心が高まる中、KAZ を含め電気自動車へ寄せられる期待は大きなものである。走行時における自動車本体からの CO_2 排出はなく、騒音も非常に小さい。エネルギー効率は、従来の自動車のおよそ 1.7 倍ともいわれ、省エネルギー技術としても重要な役割を果たす可能性を持っている。





KAZ の"Z"は、"Zero-emission"の頭文字であり、確かに走行時は自動車本体からの CO_2 排出はない。しかしながら、LCA(Life Cycle Analysis)の観点から見ると、走行時の電気自動車といえども"Zero-emission"とはいえない。LCA とは、「ゆりかごから墓場まで」という表現で説明されるように、ある財について、その素材が採掘・採取され、加工、組み立て、

---

* 2002 年 3 月執筆　この研究は、学術振興会未来開拓技術研究推進事業「アジア地域の環境保全」Work Group2 における共同研究としておこなわれたもので、科学技術振興事業団 河上清源氏の御指導とコメントによってはじめて可能となったものである。ここで記して感謝したい。

** 慶應義塾大学産業研究所特別研究助手
*** 慶應義塾大学環境情報学部教授
**** 東京大学工学系研究科博士課程

運用を経て、廃棄されるまでの全生涯(Life Cycle)にわたる環境負荷を、すべて検討しようとする分析手法である。これに基づき電気自動車の走行時の環境負荷を検討してみると、自動車本体とは別の場所から、CO_2が排出されていることがわかる。電気自動車の「燃料」にあたる電気エネルギーは、日本においては火力（石油、石炭、LNG 等）・原子力・水力その他の電源から供給されている。火力発電の場合、投入される燃料に対する発電効率は、石油・石炭火力における従来の蒸気サイクルでは 35%前後、LNG 複合発電でも 50%程である。つまり、電力のエネルギーに対して 2～3 倍の化石燃料が必要とされ、これに伴い CO_2が排出されていることになる。こうした電力の評価というのは、分析結果に大きな影響を与えることになるが、一方で、電源の種類、使用する時間帯、地域によってさまざまなので、特に注意が必要である。また、製造時の環境負荷に関しては、KAZ の場合大量のリチウムイオン電池を使用するため、この部分を特に詳細に検討しなければならない[1]。

本研究では、基本的には積み上げでデータを収集・整理し、さらにこれを環境分析用産業連関表に接続することで環境影響評価を行う、ハイブリッド法を用いて分析を行う。

2 KAZ の紹介

KAZ(Keio Advanced Zero-emission vehicle)は、新しいコンポーネント技術とシステム技術の開発により、従来の MPV（Multi Purpose passenger Vehicle: 多目的自動車）や ICE（Internal Combustion Engines: 内燃機関）と比較して高性能で機能本位の自動車である。KAZ は ICE や MPV から転用されたのではなく、最初の段階から専用設計されたため、非常にしなやかなボディーのデザインとなっている。

KAZ には、3 つの革新的なコンポーネント技術が使用されている。リチウムイオン電池は、KAZ に高いエネルギーと高いパワーを供給するために最も重要なものであった。IPM（Intelligent Power Module）は、インバーターを作る際のエネルギー損失を低く抑え、サイズをコンパクト化するのに役立った。Nd-Fe Rare Earth 磁石で実現されるモーターは、コンパクトなサイズでハイトルク・ハイスピードを実現でき、非常に高効率である。

KAZ は、3 つの新しく開発されたテクノロジーで構成されている。

1. インホイールドライブは、モーター、減速ギヤシステム、機械式ブレーキ、ベアリングを駆動車輪の中に組みこんだものである。これにより、モーターと車輪間の動力伝達ロスを減少させ、車の総重量を減らし、さらに車内の利用可能スペースを増やすことができる。KAZ は 8 輪駆動で、各車輪の最大出力は 55kW(73PS)、全体としては 440kW（590PS）である。
2. フレームに組み込まれたコンポーネントは、頑丈な床構造の中に全てのバッテリーと電気部品を統合している。これは、車両重量を軽減し、車室以外の空間を残し、さらに重心を低くする効果がある。このように統合された KAZ のシャシーの高さは 15cm で、ほとんど従来のセダンと同じであり、従来の MPV よりは非常に低い。このため乗り降りが簡単になっている。

3. タンデムサスペンションシステムは、油圧制御された車輪のペアから構成されている。これにより個々の車輪を小型化できるだけでなく、運転をとても快適で安定したものにしている。

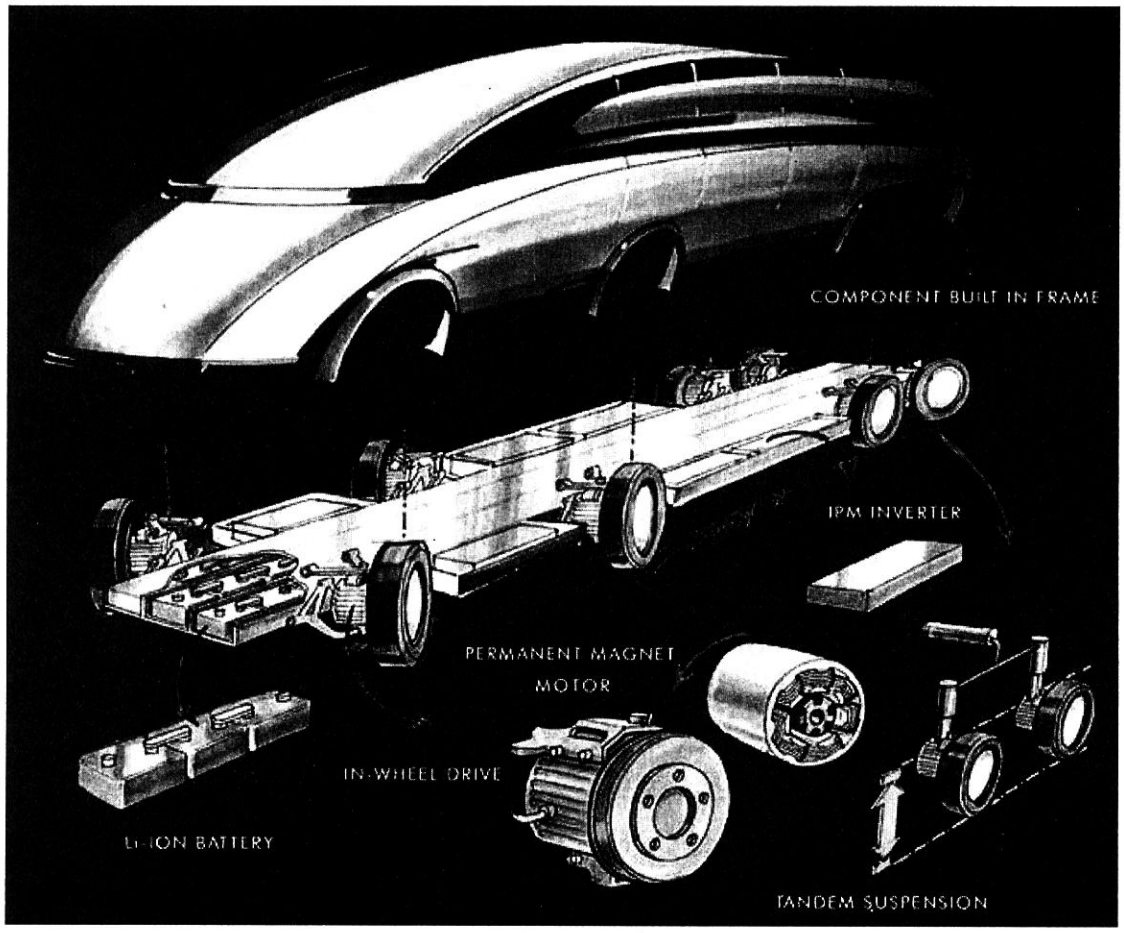


図 2 KAZ の概要

社会的に受け入れられる電気自動車を作るためには、性能的にも機能的にも既存の自動車より優れていなければならない。これまでバッテリーは、電気自動車の移動範囲と自立性を制限するものであった。これに加え、加速の悪さ・最高速度の低さが電気自動車がメジャーにならなかった主な理由である。バッテリーの大きさは、貴重なスペースが車室から失われることを意味し、電気自動車の用途を限定してしまうものであった。KAZ では、以下の 3 つの基本的なコンセプトに基づいて、電気自動車の限界を無くそうと試みた：

a. 完全な専用設計、

b. 最新のテクノロジーの集約、

c. 電気自動車に特有のテクノロジーの採用。

一からの専用設計、新しいコンポーネント技術、新しく発達したシステム技術のおかげで、

KAZ は非常に高いパフォーマンスを持つことになった。最高速は 311km/h、0-400m 加速時間は 15.3 秒である。そして、1 回の充電による走行距離はリチウムイオンバッテリーを用いて 300km になる。さらに現在開発中の range extender（出力 10kW）により、600Km まで増加するであろう。

表 2 SPECIFICATIONS of KAZ [2]

VEHICLE	LENGTH	6700 mm
	WIDTH	1950 mm
	HEIGHT	1675 mm
	WEIGHT	2980 kg
	PASSENGERS	8
BATTERY	TYPE	Li-ion
	VOLTAGE	3.75 V
	CAPACITY	88 Ah
	WEIGHT	3.5 kg
	NUMBER OF BATTERIES	168
MOTOR	TYPE	6 Phase Synchronous Nd-Fe
	MAGNET MAXIMIM TORQUE (without Gear Ratio)	100 Nm
	MAXIMUM VELOCITY	12000 rpm
	MAXIMIM POWER	55 kW
	GEAR RATIO	4.588
	NUMBER OF MOTORS	8
INVERTER	TYPE	PWM
	OUTPUT VOLTAGE	0-140 V
	OUTPUT CURRENT	0-250 A
TYRES		188/55-R16
SUSPENSION	TYPE	Double Wishbone
	SPRING&DAMPER	Hydro Pneumatic
PERFORMANCE	MAXIMUM SPEED	311 km/h
	0-400 ACCELERATION TIME	15.3 sec
	RANGE PER CHARGE (at 100km/h constant speed)	300 km

KAZ は環境問題を考慮した、効率的にエネルギー資源を利用する、革新的な特徴を持つ Zero-EmissionVehicle である。KAZ は平和を意味するものであり、いくつもの重要な研究プロジェクトから生まれた 21 世紀の機能的な電気自動車のプロトタイプである。

KAZ は、非常に安定していて快適である。低重心と 8 輪駆動のため、加速時のテールスクワットやブレーキ時の沈み込みがほとんど無い。モーターのトルクが、ゼロから高速度まで一定なため、加速感が非常に良い。KAZ は状況にとても柔軟に対応できる。タンデムサスペンションシステムのおかげで、悪路での振動吸収性が高い。さらに、低重心・8 輪駆動・タンデムサスペンションシステムにより、コーナリング性能が向上している。

KAZ は、もちろん環境に優しい。走行時の自動車本体からの排出はなく、騒音も最小限

である。エネルギー効率は、従来の車のおよそ 1.7 倍ともいわれている。

KAZ に使われている技術は、例えば車高の低いフラットフロアーのミニバスやローフロアー・ラージスペースのバンや高性能乗用車など、さまざまな自動車に適用することが可能である。

3. 分析手法

3.1 産業連関表(Input-Output Table)

産業連関表は国内の全産業を 400 部門程度に分類し、ある産業から別の産業への財の流れを、金額ベースの行列形式で記述したものである。この行列を利用して、一つの産業に対して直接、間接を問わず各産業からの最終的な産出量を算出することにより、着目する産業の製品に関する各種投入を一意に算定することができる。ベースとなる取引基本表は最新の 95 年表で、[中間需要部門(Activity) 403＋最終需要部門（消費、投資、輸出、輸入）]×[財(Commodity) 511]の矩形マトリクスで、通常これを部門統合するなどして正方化して分析に用いる。

	中間需要 1…n 部門	最終需要 F			輸入	総生産
		国内最終需要 F_Y		輸出		
		消費	投資			
中間投入 1…m 部門	A·X	F_C	F_I	F_E	-M	X
付加価値	V					
総生産	X					

エネルギー種:k品目	B:物量表(k品目×n部門) 単位:ton, kl, m^3, ・・・	
	C:熱量表(k品目×n部門) 単位:Tcal	
	D:CO_2発生表(k品目×n部門) 単位:ton-CO_2	
	E:CO_2控除表(k品目×n部門) 単位:ton-CO_2	
	CO_2排出量表(k品目×n部門) 単位:ton-CO_2	

図 3.1 環境分析用産業連関表

取引基本表では、複数の産業部門が同一の製品を製造する「代替生産」(例：事業用電力部門）や、一つの産業部門から複数の主産物を生産する「結合生産」(例：石油精製部門）が存在し、このままでは上記のような演算から解を一意に決定できない。そこで一般的には産業部門、財の部門統合をして正方化する。

また、産業連関表で計上される財の取引は１年間のフローであり、固定資本（資本財のうち、耐用年数が１年以上、購入者価格の単価が 20 万円以上のもの）は「投資」として最終需要部門に含まれている。すなわち、レオンチェフ逆行列により得られる波及効果はあくまでも消費財に関するものであって、その基盤となる資本ストックはサンクされたものとして除外されている。この資本ストックに関するデータを 400 部門という細分類で準備することは現実的には非常に困難である。

環境分析用産業連関表は、さらに中間需要部門ごとの化石燃料投入量、エネルギー投入量、CO_2排出慮を推計したものである[3]。

第 i 財(commodity)について、第 j 中間需要部門(Activity)における投入額が x_{ij}、最終需要 F_i、輸入 M_i、総生産 X_i とすれば、２財－２部門の場合需給均衡式は次のように表せる。

需給均衡式：
$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} + F_1 - M_1 = X_1 \\ x_{21} + x_{22} + F_2 - M_2 = X_2 \end{cases} \tag{3.1.1}$$

ここで、

投入係数 $a_{ij} = x_{ij}/X_j$ (3.1.2)

を定義すると、

$$\Leftrightarrow \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} M_1 \\ M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix}$$

となり、行部門（財）i = 1 ~ n、列部門（中間需要部門）j = 1 ~ n として一般化すると、次の需給バランス式が得られる。

$$\Leftrightarrow \quad \mathbf{X} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{X} + \mathbf{F} - \mathbf{M} \tag{3.1.3}$$

生産額 **X** について解くと、

$$\mathbf{X} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \cdot (\mathbf{F} - \mathbf{M}) \tag{3.1.4}$$

$(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ ：レオンチェフ逆行列

ここで、各部門ごとの CO_2排出量を生産額で除したものを、CO_2排出係数と定義する。

第 j 部門の CO_2排出係数：$\mathbf{C}_j = {}^{\text{第 j 部門の}CO_2\text{排出量}}\!/_{\mathbf{X}_j}$ (3.1.5)

第 i 財の CO_2排出係数：$\mathbf{C}_{f_i} = {}^{\text{第 i 財の}CO_2\text{排出量}}\!/_{\mathbf{F}_i}$ (3.1.6)

これより、直接・間接の CO_2排出量は、次のように求められる。

CO_2排出量：$\mathbf{D} = \underbrace{\mathbf{C}^t \cdot \mathbf{X}}_{\substack{\text{中間需要部門からの} \\ CO_2\text{排出量}}} + \underbrace{\mathbf{C}_f{}^t \cdot \mathbf{F}}_{\substack{\text{最終需要部門からの} \\ CO_2\text{排出量}}}$ (3.1.7)

$\mathbf{C}$：部門別排出係数ベクトル、$\mathbf{C}_f$：財別排出係数ベクトル

3.2 プロセス連関分析

プロセス連関分析は、単一のプロセスから生じる複数の製品および排出物を評価に含め、積み上げ法における波及追跡の繁雑さと、複数の製品間の資源投入や環境排出の配分問題を解消する方法である[4]。以下では、分析すべきシステムの各プロセスの入出力から、システム全体の入出力を算定するプロセス連関分析の基本的方法について述べる。まず、各プロセスに必要な入力、出力の数学的表記について説明する。

プロセス j の稼働量 Xj に伴う全ての投入： $a_j = \begin{pmatrix} a_{1j} \\ \vdots \\ a_{ij} \\ \vdots \\ a_{nj} \end{pmatrix} \cdot x_j$ (3.2.1)

これより、全プロセスに関する投入ベクトル

$$\mathbf{Ax} = \sum_{j=1}^{n} a_j x_j = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{i1} & \cdots & a_{ij} & \cdots & a_{im} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nj} & \cdots & a_{nm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_j \\ \vdots \\ x_m \end{pmatrix} \quad (3.2.2)$$

生産ベクトル

$$\mathbf{Ex} = \sum_{j=1}^{n} e_j x_j = \begin{pmatrix} e_{11} & \cdots & e_{1j} & \cdots & e_{1m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e_{i1} & \cdots & e_{ij} & \cdots & e_{im} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e_{n1} & \cdots & e_{nj} & \cdots & e_{nm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_j \\ \vdots \\ x_m \end{pmatrix} \quad (3.2.3)$$

バランス式 $\mathbf{Ex} \geq \mathbf{Ax} + \mathbf{f}$

$(\mathbf{E} - \mathbf{A})\mathbf{x} \geq \mathbf{f}$ (3.2.4)

x_j :プロセス j の稼動量、f_i :製品 i の最終需要

a_{ij} :プロセス j を単位量稼動するために必要な製品 i の投入係数

e_{ij} :プロセス j を単位量稼動した際に産出する製品 i の生産係数

プロセスの統合および分離の度合は、分析の目的と境界設定にしたがって決定すれば良い。ここで、システム全体の状態、すなわち $\mathbf{x}$ を決定するために任意の条件を与えて正方行列を作成すれば、産業連関分析と同様に解 $\mathbf{x}$ を一意に定めることができる。

3.3　プロセスデータの作成

これまで我々はライフサイクルアセスメントの観点から、各種素材・製品やそれに関わるシステムの設計・評価を行うため、技術データの積み上げを基本としたプロセス連関分析手法を開発してきた。これに、産業連関表に表現されている包括性をプロセス連関分析の枠組みに取り込むため、両者を融合したハイブリッド表を作成する。

実際に積み上げのデータと産業連関表を接続する際に、最も注意を要するのが財の単価或いは財の質の問題である。産業連関表では、広範な社会全体の活動をわずか 500 前後に区分し、それぞれの部門毎の総計として活動の規模を「価額（金額)」という指標を用いて評価している。従って、活動に伴う生産財の単価はその部門内で平均化されたものとして評価されることになる。これが問題となるのは、加工度の高い製品（自動車、家電製品など）である。加工度が上がるにつれ、様々な付加価値がそこに含まれた形で価格が決められてゆくため、たとえ同じ素材から加工されたものであっても、その質・価格は異なっているはずである。実際の価格で評価する場合、必要となる物量が適正に評価されない。高価な製品であれば素材量は過剰に、安価な製品であれば過小に評価される。一方、実際の物量で評価する場合はその製品の質が適正に評価されない。同じ自動車１台であっても、価格の高いものは研究開発から製造過程にわたるまで、それだけ多くの労働力が投入されているはずである。こうした質を高めるための付帯的な活動がうまく評価されなくなってしまう。

ここで、プロセス連関の方法を利用することによる効果的な解決策が考えられる。先に述べたように、価格・質のばらつきが大きくなるのは加工度の高い製品である。従って、ある程度加工度の低い素材までプロセス連関を用いて遡ることができれば、そこから先は産業連関分析で評価することができる。そして、そこに至るまでのプロセスでの負荷をプロセス連関分析により補ってやれば、全体として適正な評価を行うことができるはずである。ただし、このためには評価に含めるべき特殊性を有する財の製造プロセスを、別途精度良く評価しておくことが必用となる。

接続の方法として、次の二つが挙げられる。

① 1 Step

オリジナルインベントリがそのまま平均財と見なせる場合。

② 2 Step

オリジナルインベントリに特殊な財が含まれる場合。

後者の場合、先に述べたように一度プロセス連関分析で平均的な財のところまで分析し、さらに産業連関分析という２段階の手順が必用となるため、2Step と呼ぶことにする。

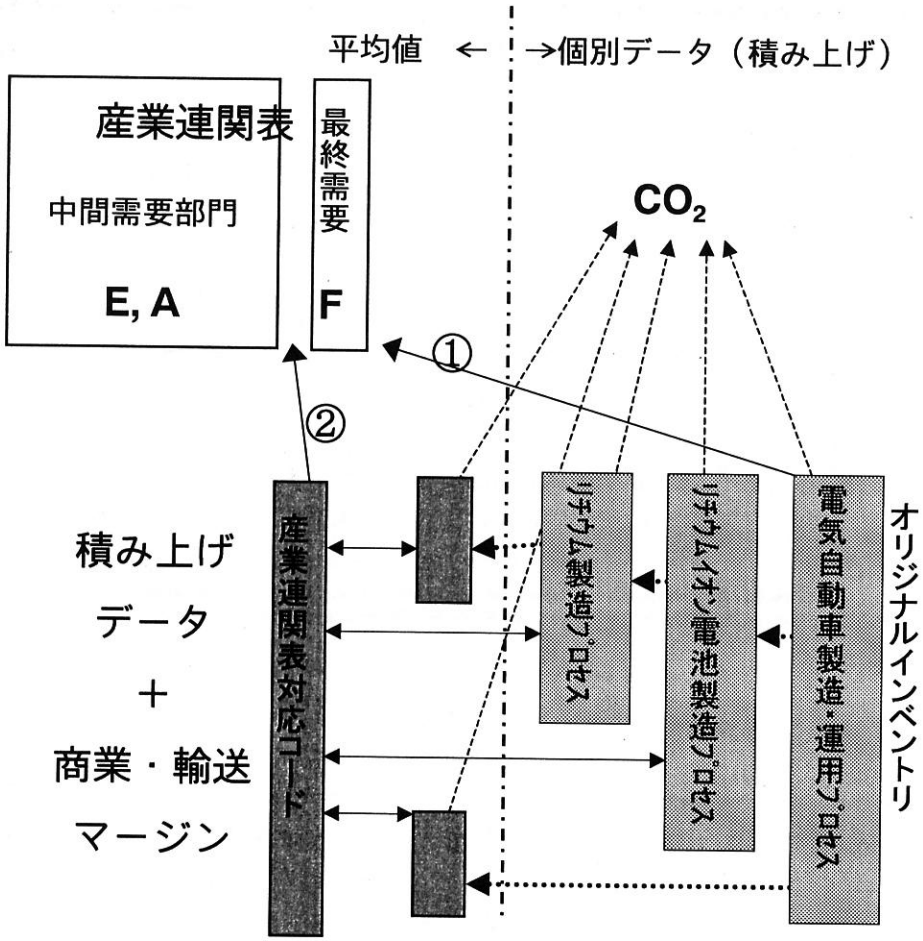


図 3.2 Hybrid Table

プロセス連関分析における投入係数行列 **Ap**、解 **Xp** とすると、

$$\mathbf{F_Y} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{A_p} \cdot \mathbf{X_p} \qquad (3.3.1)$$

Uij ：産業連関の第 i 財に対応するプロセス連関の第 j 財の単価

という変換をほどこすことで、プロセス連関モデルでカバーしきれなかったその他の産業部門への波及効果を算出することができる。**Ap・Xp** として、特定プロセスの投入ベクトル $\mathbf{Ap_j}$ を与えることもあるが、これは通常の積み上げ法による産業連関表の応用と同等で、、産業連関表を原単位表として利用する方法といえる。

こうして作成された Hybrid Table を用いて、最適化、シミュレーション分析を行うことが可能となる。これは、産業連関分析から見ると「産業構造の変更」だが、プロセス連関分析から見ると「社会全体へのモデルの拡張」であり、LCA の精度の向上のためには重要であるといえよう。

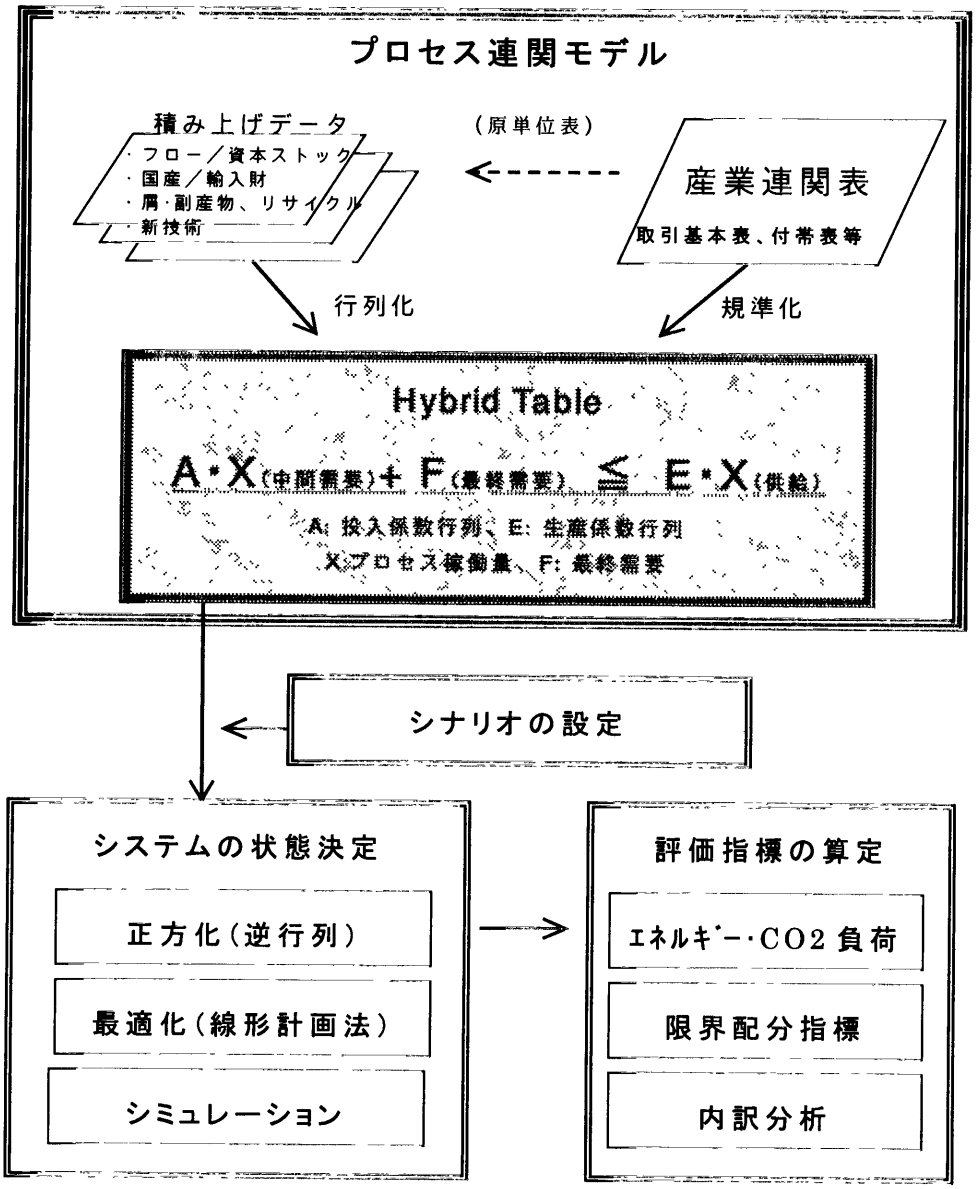

プロセス連関モデル
積み上げデータ
・フロー／資本ストック
・国産／輸入財
・屑・副産物、リサイクル
・新技術
（原単位表）
産業連関表
取引基本表、付帯表等
行列化
規準化
Hybrid Table
A*X(中間需要)+ F(最終需要) ≦ E*X(供給)
A: 投入係数行列、E: 生産係数行列
X:プロセス稼働量、F: 最終需要
シナリオの設定
システムの状態決定
正方化（逆行列）
最適化（線形計画法）
シミュレーション
評価指標の算定
エネルギー・CO2 負荷
限界配分指標
内訳分析

図 3.3 分析の流れ

4. データと前提条件

4.1 前提条件

ガソリン自動車(GV)、電気自動車(EV)について、製造から走行に至る過程を文献[1]を参考に積み上げ法で整理する。文献[1]における電気自動車標準データと KAZ とは車格が異なるため、各パーツ別に素材及び加工時の燃料等を重量比で膨らませた。また、電気自動車製造に関しては、リチウムイオン電池の部分が特殊なため、その他車体部分とは別に検討した。さらに KAZ 比較するための GV としては、標準 EV と KAZ の車重比率（≒1.98）で膨らませた。ただし、タイヤに関しては、それぞれ４本から８本に増やした。

表 4.1 パーツ別重量構成の基礎データ

	KAZ ﾋｱﾘﾝｸﾞ			産技審データ*		
	項目	[kg]	[%]	項目	[kg]	[%]
総重量		2,980	100%	総重量	1,500	100%
車体	外装	200	6.7%			---
	内装	100	3.4%			---
	ﾌﾚｰﾑ(ｱﾙﾐ)	200	6.7%			---
	ﾌﾚｰﾑ(ｽﾁｰﾙ)	1,000	33.6%			---
	小計	1,500	50.3%	小計	1,049.5	70.0%
駆動系	Battery	600	20.1%	Battery	337	22.5%
	Motor+Tire	560	18.8%	Motor	57	3.8%
				Tire ***	32	2.1%
	Inverter	240	8.1%	ｺﾝﾄﾛｰﾗｰ	4.5	0.3%
	配線その他**	80	2.7%	充電器	20	1.3%
	小計	1,480	49.7%	小計	450.5	30.0%

* 産業技術審議会他、『リチウム電池を対象にしたライフサイクルアセスメントの実施』、平成９年７月
** その他車体部分の調整項
*** 日本ゴム工業会 http://www.green-web.ne.jp/conten/lca/tire9909.html より、8 kg/本×4 本

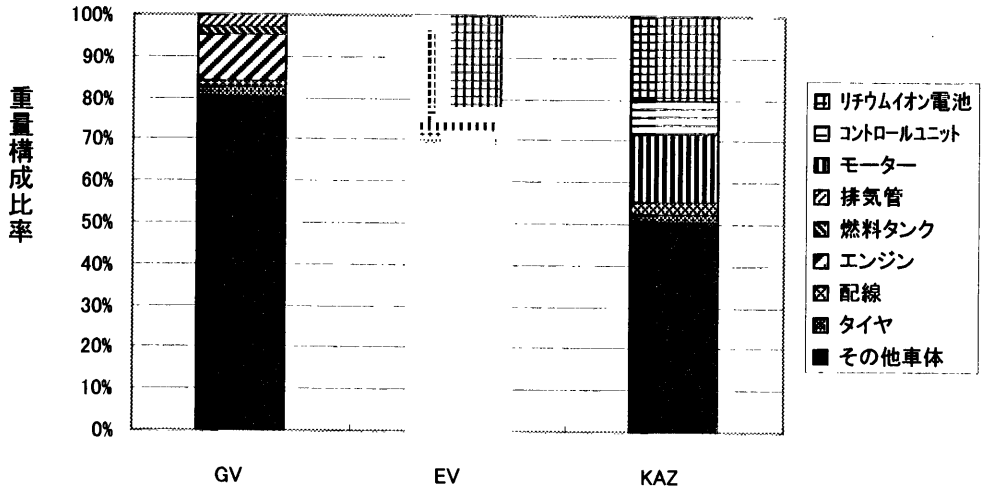


図 4.1.1 各自動車のパーツ別重量の構成比率

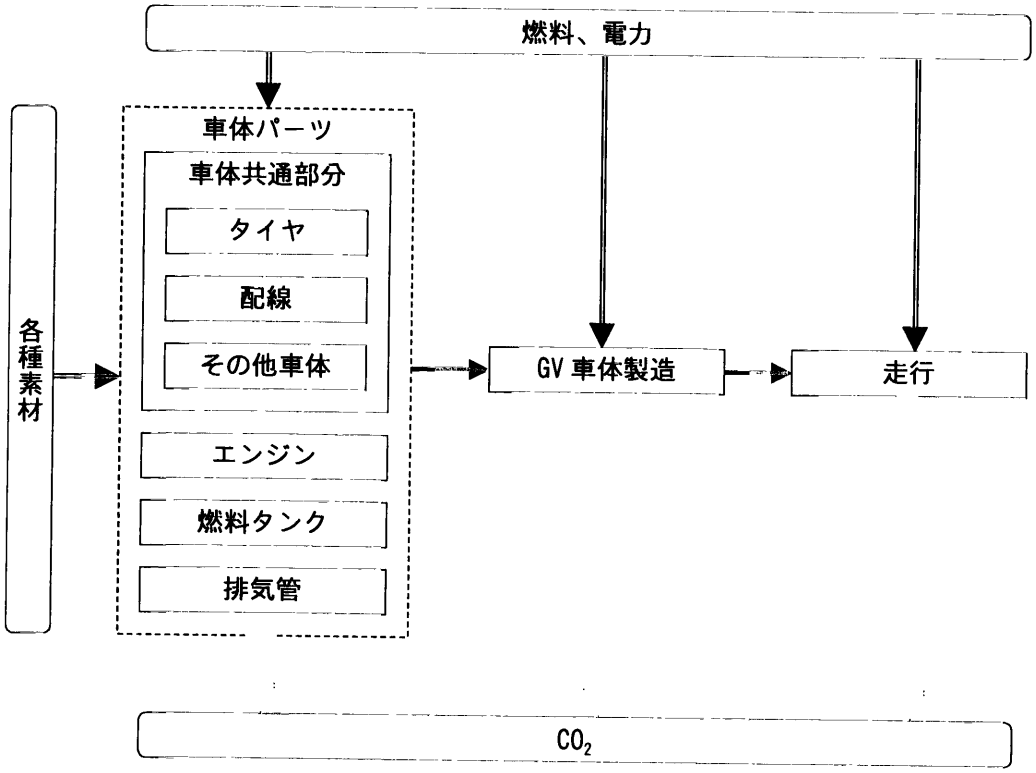


図 4.1.2 ガソリン自動車(GV)の検討範囲

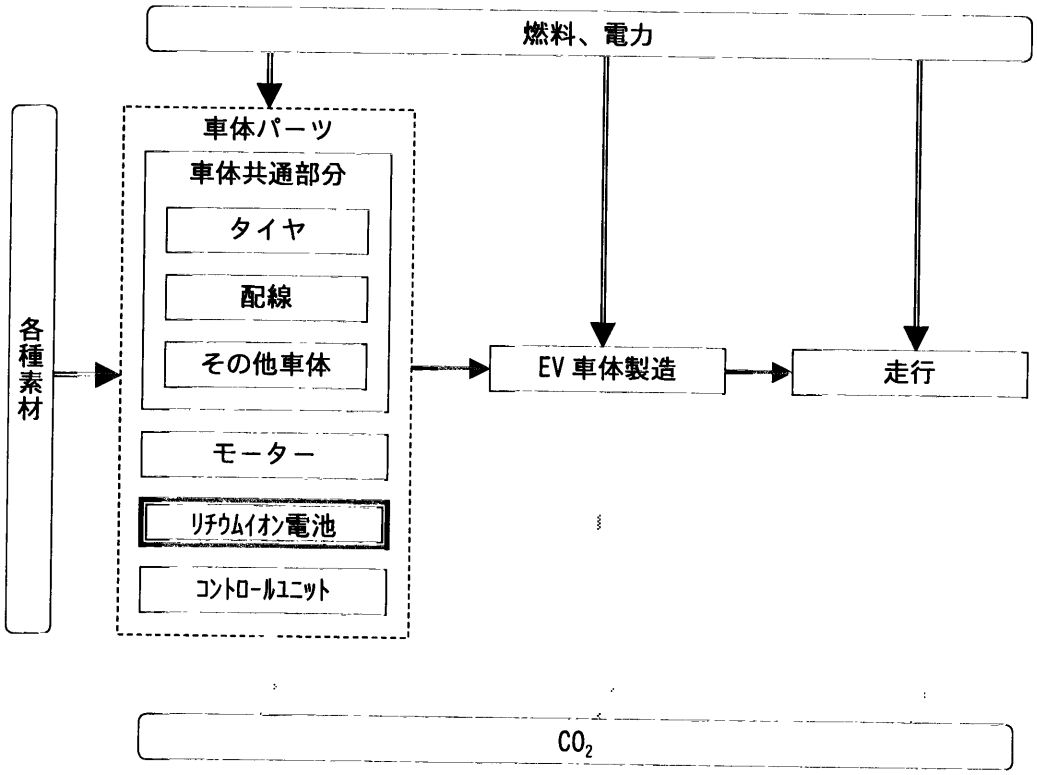


図 4.1.3 電気自動車(EV)の検討範囲

4.2 車体製造

産業技術審議会他、「リチウム電池を対象にしたライフサイクルアセスメントの実施」（文献[1]）をもとに、GV、EV それぞれのパーツ別素材データと組立時の投入エネルギーを次表にまとめる。

表 4.2.1 基準とする GV と EV の素材データ[1]

素材 [kg]	共通	GV				EV			
	車体共通部分	エンジン	燃料ﾀﾝｸ	排気管	GV 計	モーター	ｺﾝﾄﾛｰﾙ ﾕﾆｯﾄ	充電器	EV 計
銑鉄	27				27				27
熱間圧延	176.3				176.3				176.3
冷間圧延	98	118.9	20	32	268.9	34.2	2	20	154.2
亜鉛ﾒｯｷ鋼材	259.9				259.9				259.9
炭素鋼	154.4				154.4				154.4
ステンレス鋼	34.5			8	42.5				34.5
電気銅	18.8	4.4			23.2	12.5	1.4		32.7
アルミ地金	58	21.8			79.8	8.6	0.9		67.5
ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ	64.3				64.3				64.3
塩化ﾋﾞﾆﾙ	14.2				14.2				14.2
ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ	3.9				3.9				3.9
ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ	38.6				38.6				38.6
ABS	9				9	1.7	0.2		10.9
ガラス	36				36				36
木材	5.1				5.1				5.1
ゴム(SBR)	7.9				7.9				7.9
油脂・その他	43.7				43.7				43.7
車体計	1049.6	145.1	20	40	1254.7	57	4.5	20	1131.1
タイヤ	32				32				32
バッテリー									337
総計	1081.6				1286.7	57	4.5	20	1500

表 4.2.2 組立時の投入エネルギー

	単位	共通	GV			EV		
		自動車製造	部分品・付属品	エンジン	GV 計	ﾓｰﾀｰ・ｺﾝﾄﾛｰﾗｰ	蓄電池	EV 計
電力	kWh	1628.51	456.15	261.00	2345.66	212.18	28.93	2325.77
重油	l	39.06		55.97	95.03	5.66	1.27	46.00
都市ガス	m3	15.85	9.21		25.06		0.97	26.03
石炭	kg	19.71	0.00		19.71			19.71
揮発油	l		1.28		1.28		0.00	1.28
灯油	l		8.70		8.70		0.25	8.95
軽油	l		1.39		1.39		0.25	1.64
炭化水素油	l		0.01		0.01			0.01
LPG	kg		10.01		10.01		0.38	10.40
ｺｰｸｽ	kg		6.73		6.73			6.73
LNG	kg		1.7713		1.7713			1.7713

EV の標準データを、KAZ ベースのパーツ構成に組み替え、さらにパーツ別の重量比で素材及び組立エネルギーの投入量を膨らませた。次表「車体計－KAZ」の網掛けの部分が、膨らましの基準とした重量である。

表 4.2.3 EV 標準データから KAZ の重量比への膨らまし

素材 [kg]	KAZ Base				KAZ				
車体	Motor +Tire	Inverter	配線	その他車体	Motor +Tire	Inverter	配線	その他車体	EV 計
銑鉄				27				39.3	39.3
熱間圧延				176.3				256.5	256.5
冷間圧延	34.2	22		98	297.6	215.5		142.6	655.7
亜鉛ﾒｯｷ鋼材				259.9				378.2	378.2
炭素鋼				154.4				224.7	224.7
ステンレス鋼				34.5				50.2	50.2
電気銅	12.5	1.4	18.8	0	108.8	13.7	80.0	0.0	202.5
アルミ地金	8.6	0.9		58	74.8	8.8		84.4	168.1
ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ				64.3				93.6	93.6
塩化ﾋﾞﾆﾙ				14.2				20.7	20.7
ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ				3.9				5.7	5.7
ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ				38.6				56.2	56.2
ABS	1.7	0.2		9	14.8	2.0		13.1	29.8
ガラス				36				52.4	52.4
木材				5.1				7.4	7.4
ゴム(SBR)				7.9				11.5	11.5
油脂・その他				43.7				63.6	63.6
車体計	57	24.5	18.8	1030.8	496	240	80	1500	2316
タイヤ	32				64				64
バッテリー				337					600
総計	89	24.5	18.8	1,500	560	240	80	1,500	2,980

注）網かけの部分を基準に、重量比で膨らましを行った。

以上のデータをもとに、１台あたりのパーツ別の投入素材・エネルギー量を次表仁まとめる。

表 4.2.4 自動車製造素材まとめ

		共通		GV				EV			
	単位	車体共通部分	配線	エンジン	燃料タンク	排気管	GV	モーター	ｺﾝﾄﾛｰﾙﾕﾆｯﾄ	EV	KAZ
銑鉄	t	0.02700									
熱間圧延	t	0.17630									
冷間圧延	t	0.09800		0.11890	0.02000	0.03200		0.03420	0.02200		
亜鉛ﾒｯｷ鋼材	t	0.25990									
炭素鋼	t	0.15440									
ステンレス鋼	t	0.03450				0.00800					
電気銅	t		0.01880	0.00440				0.01250	0.00140		
アルミ地金	t	0.05800		0.02180				0.00860	0.00090		
ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ	t	0.06430									
塩化ﾋﾞﾆﾙ	t	0.01420									
ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ	t	0.00390									
ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ	t	0.03860									
ABS	t	0.00900						0.00170	0.00020		
ガラス	t	0.03600									
木材	t	0.00510									
ゴム(SBR)	t	0.00790									
油脂・その他	t	0.04370									
電力	GWh	0.00163		0.00046	0.00026			0.00021	0.00003		
重油	kl	0.03906			0.05597			0.00566	0.00127		
都市ガス	m3	0.01585		0.00921					0.00097		
石炭	t	0.01971		0.0000002							
揮発油	kl			0.00128					0.000002		
灯油	kl			0.00870					0.00025		
軽油	kl			0.00139					0.00025		
炭化水素油	kl			0.00001							
LPG	t			0.01001					0.00038		
ｺｰｸｽ	t			0.00673							
LNG	t			0.00177							
タイヤ	本						4			4	8
エンジン	t			0.1451			0.1451				
燃料タンク	t				0.02		0.02				
排気管	t					0.04	0.04				
GV	t						1.2547				
ﾘﾁｳﾑｲｵﾝ電池	t									0.337	0.600
モーター	t							-0.057		0.057	0.496
ｺﾝﾄﾛｰﾙﾕﾆｯﾄ	t								-0.0245	0.0245	0.24
配線	t		-0.0188				0.0188			0.0188	0.08
その他車体	t	-1.0308					1.0308			1.0308	1.5
EV	t									-1.5001	
KAZ											-2.98

注）網掛けの部分が生産物

95 年産業連関表・計数編 I [5]の 10 桁分類単価表をもとに、各種素材を産業連関表の分類に格付け、単価をまとめた。

表 4.2.5 素材別単価データ

	IO-7 桁ｺｰﾄﾞ	IO 部門名	単位	単価(百万円)
	Code	Name	百万円/Unit	Unit Price
銑鉄	2611011	銑鉄	t	15,977
熱間圧延	2621012	普通鋼鋼板	t	56,848
冷間圧延	2623011	冷間仕上鋼材	t	87,825
亜鉛メッキ鋼材	2623021	亜鉛めっき鋼板	t	85,432
炭素鋼	2621016	機械構造用炭素鋼	t	75,438
ステンレス鋼	2621016	特殊鋼特殊用途鋼	t	120,685
電気銅	2711011	電気銅	t	293,040
アルミ地金	2722031	自動車用アルミ	t	623,458
ポリウレタン	2041011	ＦＲＰ用	t	268,919
塩化ビニル	2041025	塩化ビニル樹脂	t	131,207
ポリエチレン	2041022	ポリエチレン高密度のもの（密度０．９４以上のもの）	t	147,144
ポリプロピレン	2041024	ポリプロピレン	t	140,751
ABS	2041023	ＡＢＳ樹脂	t	283,948
ガラス	2511012	ガラス	t	748,000
木材	1611011	木材	t	98,833
ゴム(SBR)	2033011	SBR	t	330,935
油脂・その他	2072011	塗料	t	287,604
タイヤ	2311011	乗用車用	本	3,887
電力	5111001	事業用電力	百万 kWh	20,998,250
重油	2111015	Ａ重油	kl	18,024
都市ガス	5121011	販売用	千立方米	92,764
石炭	0711012	一般炭	t	13,447
揮発油	2111011	自動車揮発油	kl	75,900
灯油	2111013	灯油	kl	20,033
軽油	2111014	軽油	kl	51,359
炭化水素油	2111017	その他用	kl	13,512
LPG	2111018	液化石油ガス（自動車用を除く）	t	17,691
石油系炭化水素ｶﾞｽ	2111019	石油ガス	千立方米	19,417
ｺｰｸｽ	2121011	粉	t	18,000
LNG	0721012	天然ガス	t	43,364

産業連関表 7 桁分類での各素材の投入金額を次表にまとめる。また、それらをもとに商業・国内輸送マージンを推計した結果を示す。

表 4.2.6 IO-7 桁コードでの 1 台あたりの投入金額及び、車体製造時の商業・輸送マージン

金額 [円/台]		共通			GV			EV	
		車体共通	タイヤ	配線	エンジン	燃料ﾀﾝｸ	排気管	モーター	ｺﾝﾄﾛｰﾙ ﾕﾆｯﾄ
0711012	一般炭	265							
0721012	天然ガス				77				
1611011	木材	504							
2033011	合成ゴム	2614							
2041011	ＦＲＰ用	17291							
2041022	ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ高密度のもの (密度 0.94 以上のもの)	574							
2041023	ＡＢＳ樹脂	2556						483	57
2041024	ポリプロピレン	5433							
2041025	塩化ビニル樹脂	1863							
2072011	塗料	12568							
2111011	自動車揮発油				97				
2111013	灯油				174				5
2111014	軽油				71				13
2111015	Ａ重油	704				1009		102	23
2111017	その他用								
2111018	液化石油ガス (自動車用を除く)				177				7
2111019	石油ガス								
2121011	コークス(粉)				121				
2311011	タイヤ		15547						
2511012	ガラス	26928							
2611011	銑鉄	431							
2621012	普通鋼鋼板	10022							
2621016	特殊鋼熱間圧延鋼材	15811					965		
2623011	冷間仕上鋼材	8607			10442	1756	2810	3004	1932
2623021	亜鉛めっき鋼板	22204							
2711011	電気銅			5509	1289			3663	410
2722031	自動車用アルミ	36161			13591			5362	561
5111001	事業用電力	34196			9578	5481		4455	608
5121011	都市ガス(販売用)	1470			854				90
6111011	卸売	22004.1	2120.1	416.9	2885.3	476.9	454.4	1260.9	348.1
6112011	小売	177.4	11.6	0.0	141.4	0.0	0.0	0.1	6.4
611****	商業マージン計	22181.5	2131.7	416.9	3026.6	476.9	454.4	1261.0	354.5
7112011	鉄道	36.5	8.7	0.5	4.3	2.9	0.5	1.9	0.6
7122011	道路	4240.6	696.2	96.7	572.6	53.3	104.5	248.8	71.7
7142012	沿海内水面	467.9	56.4	2.8	83.2	69.6	18.9	25.8	12.4
7143011	港湾運送	877.2	12.7	7.4	162.9	24.1	49.0	52.7	27.1
7151013	航空	0.0	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7161011	通運	203.1	40.6	4.0	28.4	6.2	5.4	11.5	3.6
7171011	倉庫	673.5	33.5	33.0	128.9	6.4	11.7	65.7	12.1
71*****	国内貨物運賃計	6498.8	853.6	144.4	980.4	162.5	190.0	406.5	127.5

環境分析養蚕業連関表から、最終消費部門における CO_2 排出係数 C_f を次表にまとめる。これをもとに各パーツ別の組立時における CO_2 排出量は次のように推計される。

表 4.2.7 最終消費過程からの CO_2 排出原単位

IO コード	部門名	t-C/百万円	t- CO_2/百万円
0711011	原料炭	141	517
0711012	一般炭・亜炭・無煙炭	133	488
07110121	一般炭	47	171
0721011	原油	55	201
0721012	天然ガス	16	60
07210122	液化天然ガス（ＬＮＧ）	41	149
2111011	揮発油	8	31
2111012	ジェット燃料油	38	138
2111013	灯油	34	126
2111014	軽油	14	51
2111015	Ａ重油	41	150
21110161	Ｂ重油	44	162
21110162	Ｃ重油	58	211
2111017	ナフサ	45	165
2111018	液化石油ガス	37	135
2111019601	オイルコークス	163	596
2121011	コークス	69	255
21210192	粗製ベンゾール	49	178
21210193	コールタール	79	290
21210194	コークス炉ガス（高乾）	15	54
512101	都市ガス	6	23

表 4.2.8 IO-7 桁コードでの最終消費過程からの 1 台あたりの CO_2 排出量

CO_2 排出量 [g-CO_2/台]		共通			GV			EV	
		車体共通	タイヤ	配線	エンジン	燃料ﾀﾝｸ	排気管	モーター	ｺﾝﾄﾛｰﾙ ﾕﾆｯﾄ
0711012	一般炭	45414.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
0721012	天然ガス	0.0	0.0	0.0	4619.5	0.0	0.0	0.0	0.0
2111013	灯油	0.0	0.0	0.0	21999.1	0.0	0.0	0.0	629.6
2111014	軽油	0.0	0.0	0.0	3680.2	0.0	0.0	0.0	658.2
2111015	Ａ重油	105379.7	0.0	0.0	0.0	150987.5	0.0	15268.7	3436.8
2111017	その他用	0.0	0.0	0.0	15.4	0.0	0.0	0.0	0.0
2111018	液化石油ガス（自動車用を除く）	0.0	0.0	0.0	23829.2	0.0	0.0	0.0	910.8
2121011	コークス(粉)	0.0	0.0	0.0	30865.5	0.0	0.0	0.0	0.0
5121011	都市ガス(販売用)	33692.7	0.0	0.0	19573.6	0.0	0.0	0.0	2058.9

表 4.2.6 の各アクティビティーを最終需要ベクトル F として与え、式(3.1.4)より生産額波及、式(3.1.7)より CO_2 排出量を計算する。

4.3 リチウムイオン電池製造

EV 製造の中でも、リチウムイオン電池については特殊な素材も多く使用されており、その他の車体部分とは別に検討することとする。文献[1]をもとに、375Wh 単電池セル製造、3kWh モジュール化、45kWh システム化(337kg)のプロセスをまとめる。更に特殊なセルの素材である、LiOH、NMP(N-Methyl-2-pyrrolidone)、$LiPF_6$、PC(プロピレンカーボネート)、EMC(エチルメチルカーボン)については、別途製造プロセスを検討した。これをもとに、KAZ に搭載されている電池の総重量(600kg)との重量比で、膨らましをおこなった。

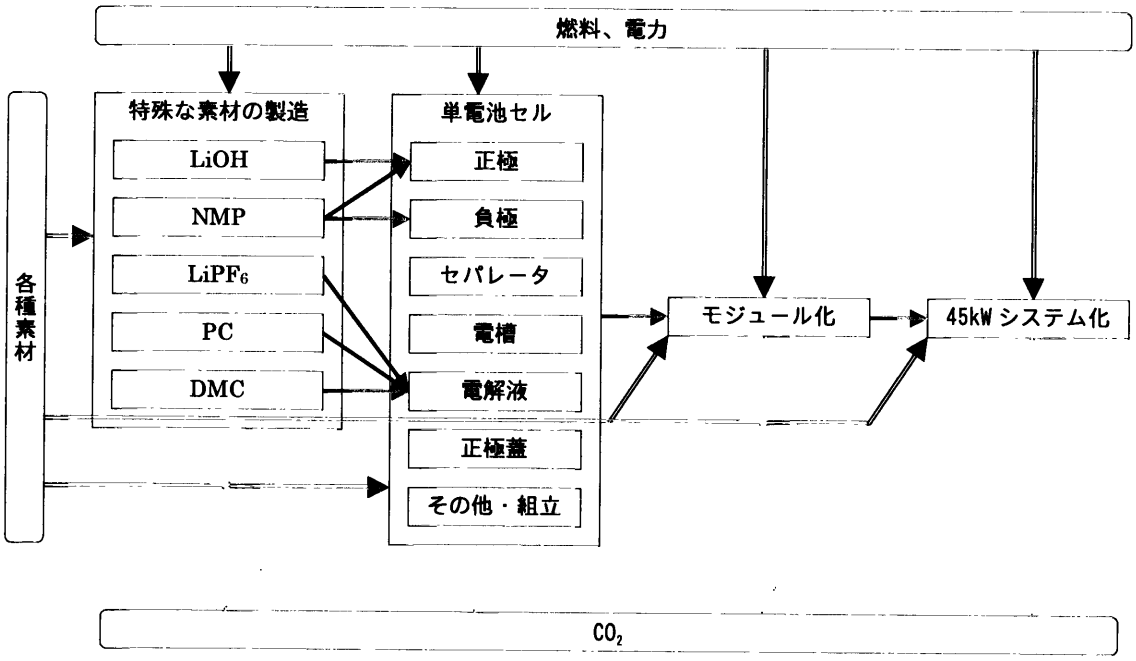


図 4.3 リチウムイオン電池製造過程の検討範囲

表 4.3.1 リチウムイオン蓄電池の基礎データ

	KAZ ﾋｱﾘﾝｸﾞ	産業技術審議会データ[1]
容量	---	375 Wh
電圧	3.75 V	---
重量	3.5 kg	---
個数	168 84*2 系統	120 8(ﾓｼﾞｭｰﾙ) ×15(ｼｽﾃﾑ)
総重量	600 kg	337 kg
容量	60 kWh	45 kWh
重量当り出力 (対電池)	102.0 Wh/kg	133.5 Wh/kg
(対車体)	20.1 Wh/kg	30.0 Wh/kg
充電時間	20-60 min.	---

表 4.3.2　45kWh リチウムイオン電池製造時の素材データ

	単位	素材製造					375Wh 単電池							3kWh モジュール (375Wh×8)	45kWh システム (3kWh×15)	リチウムイオン電池計 (45kWh)
		LiOH	NMP	$LiPF_6$	PC	DMC	正極	負極	セパレータ	電槽	電解液	正極蓋	その他・組立			
Output	kg	21.3	11.2	2.5	10.0	10.0	114.9	73.2	13.1	19.7	22.5	11.6	6.2	39.0	37.0	337.0
Input																
LiF	kg			0.5												0.5
PCI	kg			4.3												4.3
CaF_2	kg			11.0												11.0
硫酸	kg			14.5												14.5
岩塩	kg				13.2											13.2
炭酸ｶﾙｼｳﾑ	kg				6.5											6.5
炭酸ｶﾞｽ	kg				4.3											4.3
Ni	kg						52.1	1.2								53.3
HNO_3	kg						694.1									694.1
LiOH	kg	-21.3					21.3									0.0
O_2	kg					1.9	2.2									4.0
$LiNiO_2$	kg															0.0
鉄	kg											4.9	4.1		30.0	39.0
銅	kg							30.6							7.0	37.6
アルミ	kg						16.2			16.8		3.8				36.9
NMP	kg		-11.2				7.9	3.3								0.0
ﾎﾟﾘﾌｯｶﾋﾞﾆﾘﾃﾞﾝ	kg						2.0	0.8								2.8
ｹｯﾁｪﾝﾌﾞﾗｯｸ	kg						2.0									2.0
ピッチ	kg							60.0								60.0
難黒鉛化性炭素	kg															0.0
$LiPF_6$	kg			-2.5							2.5					0.0
PC(ﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝｶｰﾎﾞﾈｰﾄ)	kg				-10.0						10.0					0.0
EMC	kg					-10.0					10.0					0.0
ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ	kg								13.1	2.4		0.9				16.4
ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ	kg						0.0			0.4		1.4	2.1	22.5		26.3
ﾎﾟﾘﾌﾞﾁﾚﾝﾃﾚﾌﾀﾚｰﾄ	kg											0.6				0.6
ｼﾘｺﾝﾌｪﾉｰﾙ樹脂	kg													10.5		10.5
電力	kWh	39.7	0.3	59.0	24.4	1.1	1560.3	238.8			27.0		43.3	45.0	45.0	2083.8
原油	kg				231.3	50.4										281.7
重油	l		0.3	1.1	5.9	7.9										15.2
天然ガス	m3	15.5				4.2										19.7
石炭	kg	240.8														240.8
蒸気	Mcal	405.5			72.4	2.2										480.1

95 年産業連関表・計数編 I [5]の 10 桁分類単価表をもとに、各種素材を産業連関表の分類に格付け、単価をまとめた。

表 4.3.3 素材別単価データ

	IO-7 桁ｺｰﾄﾞ Code	IO 部門名 Name	単位 百万円/Unit	単価(百万円) Unit Price
LiF	---	---	---	---
PCI	---	---	---	---
CaF_2	---	---	---	---
硫酸	2029099	硫酸	t	7962
岩塩	---	---	---	---
炭酸ｶﾙｼｳﾑ	2599099	軽質炭酸ｶﾙｼｳﾑ(こう質品)	t	48493
炭酸ｶﾞｽ	2029021	炭酸ガス	t	26281
Ni	2722099	ニッケル・同合金展伸材	t	2043373
HNO_3	2029099	硝酸	t	48263
LiOH	2029099	水酸化リチウム	t	1050000
O_2	2029021	酸素ガス	t	140000
$LiNiO_2$	---	---	---	---
鉄	2623011	冷延鋼板	t	228387
銅	2711011	電気銅	t	293040
アルミ	2722031	自動車用アルミ	t	623458
NMP	2032024	カプロラクタム	t	217010
ﾎﾟﾘﾌｯｶﾋﾞﾆﾘﾃﾞﾝ	2041099	ふっ素樹脂	t	2466108
ｹｯﾁｪﾝﾌﾞﾗｯｸ (導電性ｶｰﾎﾞﾝﾌﾞﾗｯｸ)	2029012	カーボンブラック	t	118234
ピッチ	2039099	ピッチ	t	30329
難黒鉛化性炭素	---	---	---	---
$LiPF_6$	2029099	LiPF6	t	---
PC(ﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝｶｰﾎﾞﾈｰﾄ)	2039099	ﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝｶｰﾎﾞﾈｰﾄ	t	---
EMC(ｴﾁﾙﾒﾁﾙｶｰﾎﾞﾝ)	2039099	ｴﾁﾙﾒﾁﾙｶｰﾎﾞﾈｰﾄ	t	---
ポリエチレン	2041022	ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ高密度のもの (密度 0.94 以上のもの)	t	147144
ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ	2041024	ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ	t	140751
ﾎﾟﾘﾌﾞﾁﾚﾝﾃﾚﾌﾀﾚｰﾄ	2041031	ﾎﾟﾘﾌﾞﾁﾚﾝﾃﾚﾌﾀﾚｰﾄ	t	487232
ｼﾘｺﾝﾌｪﾉｰﾙ樹脂	2041011	成形材料	t	353967
電力	5111001	事業用電力	百万 kWh	20998250
原油	0721011	原油	t	13925
重油	2111015	A 重油	kl	18024
天然ガス	0721012	天然ガス	千立方米	33675
石炭	0711012	一般炭	t	13447
蒸気	5122011	業務用及びその他	Gcal	29171

産業連関表 7 桁分類での各素材の投入金額を次表にまとめる。また、それらをもとに商業・国内輸送マージンを推計した結果を示す。

表 4.3.4　IO-7 桁コードでの 1 台あたりの投入金額、及び商業・輸送マージン

金額 [円/台]		ﾘﾁｳﾑｲｵﾝ電池	
		45kWh ｼｽﾃﾑ	60kWh ｼｽﾃﾑ
0711012	一般炭	3239	5766
0721011	原油	3923	6984
0721012	天然ガス	662	1179
2029012	カーボンブラック	233	414
2029021	圧縮ガス・液化ガス	677	1206
2029099	その他の無機化学工業製品	33614	59847
2032024	カプロラクタム	0	0
2039099	その他の有機化学工業製品	1820	3240
2041011	成形材料	3717	6617
2041022	ポリエチレン	2410	4291
2041024	ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ	3707	6601
2041031	ﾎﾟﾘﾌﾞﾁﾚﾝﾃﾚﾌﾀﾚｰﾄ	292	520
2041099	ふっ素樹脂	6836	12171
2111015	A重油	273	486
2599099	軽質炭酸ｶﾙｼｳﾑ(こう質品)	315	561
2623011	冷延鋼板	8913	15868
2711011	電気銅	11032	19642
2722031	自動車用アルミ	23028	40999
2722099	ニッケル・同合金展伸材	108895	193879
5111001	事業用電力	43755	77903
5122011	業務用及びその他	14005	24935
重量		337 kg	600 kg
6111011	卸売	49258	87700
6112011	小売	11	20
6110000	商業マージン計	49269	87720
7112011	鉄道	73	130
7122011	道路	4535	8074
7142012	沿海内水面	836	1489
7143011	港湾運送	799	1423
7151013	航空	108	193
7161011	通運	277	494
7171011	倉庫	1514	2696
7100000	国内貨物運賃計	8143	14498

各パーツ別の組立時における CO_2 排出量は次のように推計される。

表 4.3.5　IO-7 桁コードでの最終消費過程からの 1 台あたりの CO_2 排出量

CO_2 排出量 [g-CO_2/台]		ﾘﾁｳﾑｲｵﾝ電池	
		45kWh ｼｽﾃﾑ	60kWh ｼｽﾃﾑ
0711012	一般炭	554834	987836
0721011	原油	786741	1400725
0721012	天然ガス	39837	70926
2111015	A 重油	40894	72808

表 4.3.4 の各アクティビティーを最終需要ベクトル F として与え、式(3.1.4)より生産額波及、式(3.1.7)より CO_2 排出量を計算する。

4.4 走行

電気自動車に関して、文献[1]における標準データと KAZ のヒアリングデータとの違いを次に示す。

表 4.4.1 走行時の基礎データ

	KAZ ﾋｱﾘﾝｸﾞ		産業技術審議会データ[1]	
航続距離	100km/h 定速	300 km	10.15 ﾓｰﾄﾞ	400 km
最高時速		315 km/h		

1 充電での航続距離については、KAZ のデータは 300km/h 定速走行時のデータであるが、コンピューターによる走行シミュレータでは 10.15 モードであれば 400km 程度は走行可能であろうと推計されたため、この点に関しては同程度の能力であるものと仮定した。このため、45kWh と 60kWh の電池容量の違いから、消費電力あたりの走行距離はそれぞれ 9.44 、及び 7.08 km/kWh となる。これは GV でいうところの燃費に相当するもので、KAZ の数値が現状値、文献[1]の標準データが開発目標値に相当するものとした。これに対して、GV の燃費も現状値の 11km/l と、直噴エンジンの 18.8km/l を設定した。また、電池の寿命を表す生涯充放電回数を、250 と 500cycle の 2 つを想定した。以上、電池寿命に関して 2 通り、燃費特性について 2 通りのケースを想定し、合計 4 通りのケースで推計を行うこととした。

表 4.4.2 走行時の前提条件

		Case1	Case2	Case3	Case4
KAZ(EV)	生涯充放電回数[cycle]	250	250	500	500
	消費電力当たり走行距離 (10.15 モード) [km/kWh]	7.08	9.44	7.08	9.44
	生涯走行距離[10^3km]	100	133	200	267
GV2(GV×2)	燃費[km/l]	11	18.8	11	18.8

各 Case における EV、GV それぞれの走行時のデータを次に示す。

表 4.4.3 EV の走行データ

		Case1	Case2	Case3	Case4
1 充電電力量	kWh	48	48	48	48
充放電効率	%	0.85	0.85	0.85	0.85
1 充電所用電力量	kWh	56.47	56.47	56.47	56.47
消費電力当たり走行距離 (10.15 モード)	km/kWh	7.08	9.44	7.08	9.44
1 充電走行距離(10.15)	km	400	533	400	533
生涯充電回数	cycle	250	250	500	500
生涯電力消費	kWh	14,118	14,118	28,235	28,235
生涯走行距離	km	100,000	133,333	200,000	266,667

表 4.4.4 GV の走行データ

		Case1	Case2	Case3	Case4
燃費	km/l	11.0	18.8	11.0	18.8
生涯走行距離	km	100,000	133,333	200,000	266,667
生涯ガソリン消費	l	9,091	7,092	18,182	14,184

また、維持管理に関しては、共通の品目としてはタイヤ、GV 特有の品目としてはエンジンオイル、ATF(Automatic Transmission Fluid)を考慮することとし、走行距離をもとに必要量を推計した。

表 4.4.5 維持管理

	交換時期 [km]	交換数量	生涯数量 [10 万 km 当り]
タイヤ	30,000	4 本×2	24 本
エンジンオイル	5,000	4 l	80 l
ATF (Automatic Transmission Fluid)	40,000	6 l	15 l

以上をもとに推計される、走行時の投入素材・エネルギーを次にまとめる。

表 4.4.6 走行時の投入素材データ

		GV				EV			
		Case1	Case2	Case3	Case4	Case1	Case2	Case3	Case4
ガソリン	l	9091	7092	18182	14184				
電力	kWh					14118	14118	28235	28235
タイヤ	本	24	32	48	64	24	32	48	64
潤滑油	l	95	127	190	253				

95 年産業連関表・計数編 I [5]の 10 桁分類単価表をもとに、各種素材を産業連関表の分類に格付け、単価をまとめた。

表 4.4.7 素材別単価データ

	IO-7 桁ｺｰﾄﾞ Code	IO 部門名 Name	単位 百万円/Unit	単価(百万円) Unit Price
ガソリン	2111011	自動車揮発油	kl	75900
電力	5111001	事業用電力	百万 kWh	20998250
タイヤ	2311011	乗用車用	千本	3886705
潤滑油	2111019	潤滑油	kl	76768

産業連関表 7 桁分類での各素材の投入金額を次表にまとめる。また、それらをもとに商業・国内輸送マージンを推計した結果を示す。

表 4.4.8 IO-7 桁コードでの 1 台あたりの投入金額

金額 [円/台]		GV				EV			
		Case1	Case2	Case3	Case4	Case1	Case2	Case3	Case4
2111011	自動車揮発油	690,000	538,298	1,380,000	1,076,596	0	0	0	0
2111019	潤滑油	7,293	9,724	14,586	19,448	0	0	0	0
2311011	乗用車用	93,281	124,375	186,562	248,749	93,281	124,375	186,562	248,749
5111001	事業用電力	0	0	0	0	296,446	296,446	592,892	592,892
6111011	卸売	122749	104297	245499	208595	12721	16961	25441	33922
6112011	小売	207172	161727	414344	323454	70	93	139	186
611****	商業マージン計	329921	266024	659843	532049	12790	17054	25581	34108
7112011	鉄道	1656	1331	3311	2662	52	69	104	139
7122011	道路	6302	7421	12604	14842	4177	5570	8355	11139
7142012	沿海内水面	11594	9276	23189	18551	339	451	677	903
7143011	港湾運送	546	471	1092	942	76	102	153	204
7151013	航空	34	45	68	91	33	45	67	89
7161011	通運	1033	951	2065	1903	243	324	487	649
7171011	倉庫	3061	2503	6122	5006	201	268	401	535
71*****	国内貨物運賃計	24226	21998	48452	43997	5122	6829	10243	13658

走行過程からの 1 台あたり CO_2 排出量は次のように推計される

表 4.4.9 走行過程からの 1 台あたり CO_2 排出量

CO_2 排出量 [g-CO_2/台]		GV				EV			
		Case1	Case2	Case3	Case4	Case1	Case2	Case3	Case4
2111011	自動車揮発油	21463	16744	42925	33488	0	0	0	0

表 4.4.8 の各アクティビティーを最終需要ベクトル F として与え、式(3.1.4)より生産額波及、式(3.1.7)より CO_2 排出量を計算する。

5 計算結果

CO_2排出量の計算結果を以下に示す。

5.1 製造過程からの CO_2 排出量

各自動車製造過程における、1台あたりのパーツ別 CO_2 排出量を図 5.1.1 に、構成比率を図 5.1.2 に示す。EV では、リチウムイオン電池からの CO_2 排出が非常に大きいことがわかる。特に KAZ の場合、インホイールドライブの効果で「その他車体」からの CO_2 排出は減っているが、モーターの数が増えているため相殺されてしまっている。電池と共に、モーターの軽量化等の改良が非常に重要な課題といえるであろう。

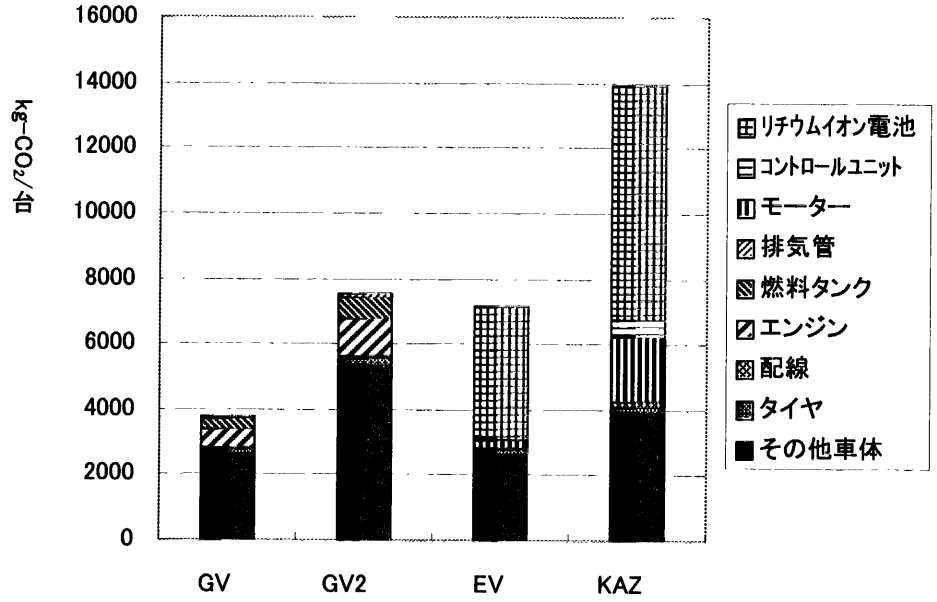


図 5.1.1 各自動車製造過程における、1台あたりのパーツ別 CO_2 排出量

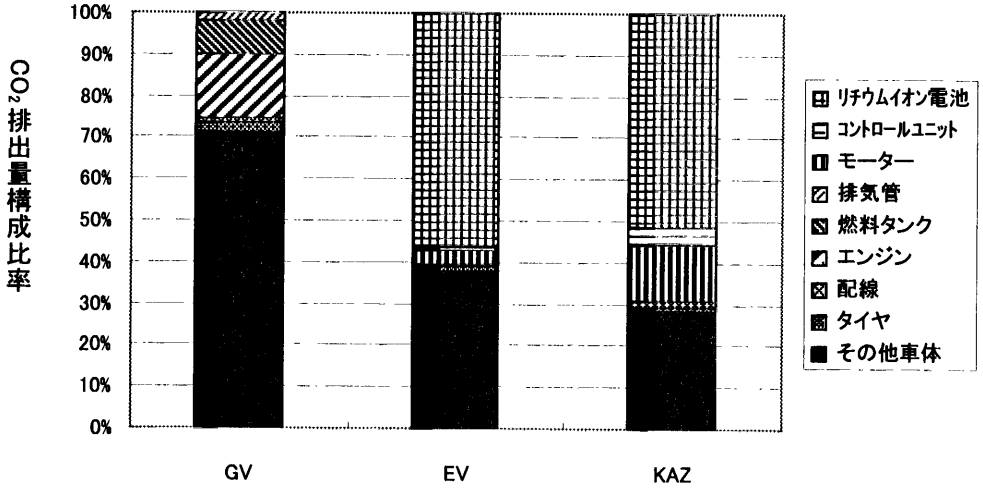
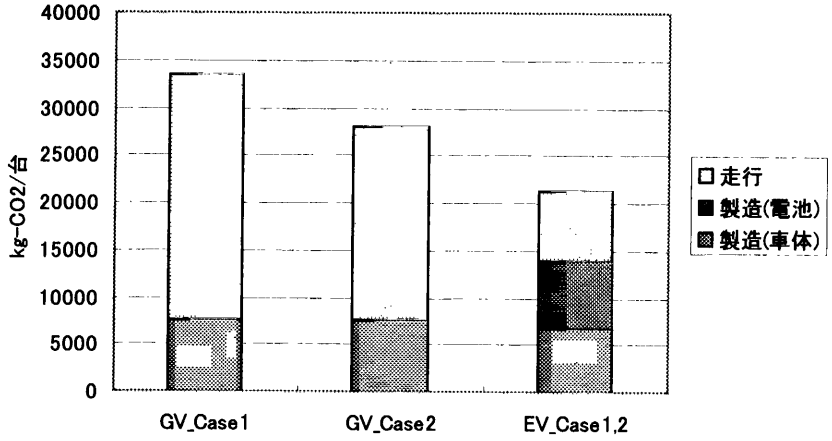


図 5.1.2 各自動車製造過程における、パーツ別 CO_2 排出量構成比

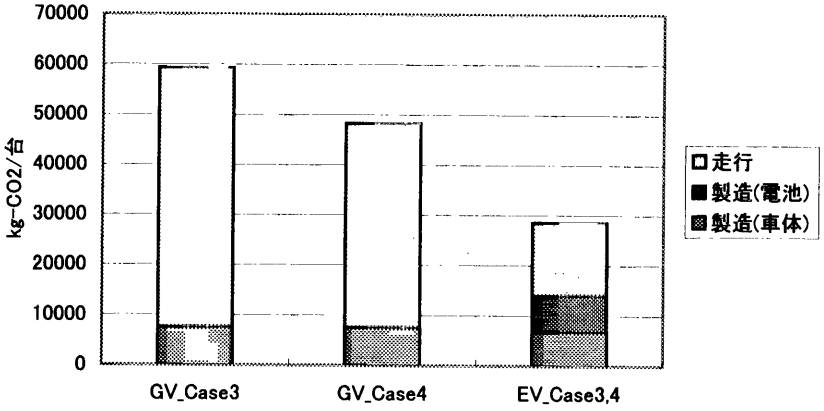
5.2 ライフサイクル CO_2 排出量

走行・製造過程にわたるライフサイクル全体の CO_2 排出量の推計結果を示す。図 5.2.1,2 は 1 台あたりの CO_2 排出量、図 5.2.3,4 は走行距離あたりの CO_2 排出量である。



電池充放電回数：250cycle
燃費：Case1; 現状値、Case2; 目標値

図 5.2.1 ライフサイクル全体での 1 台あたりの CO_2 排出量(Case1,2)

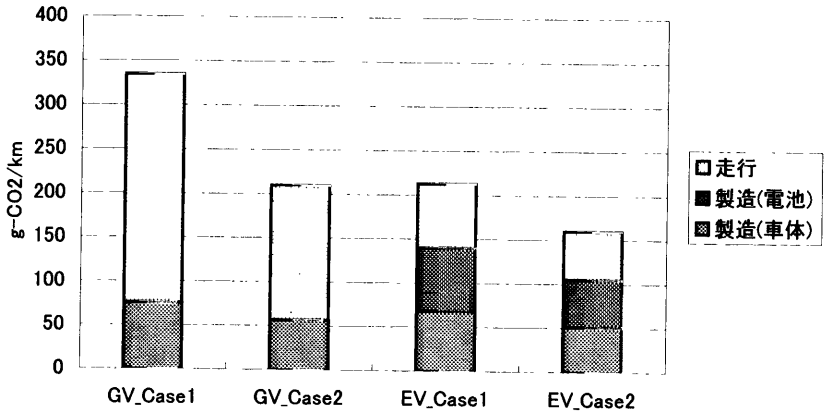


電池充放電回数：500cycle
燃費：Case3; 現状値、Case4; 目標値

図 5.2.2 ライフサイクル全体での 1 台あたりの CO_2 排出量(Case3,4)

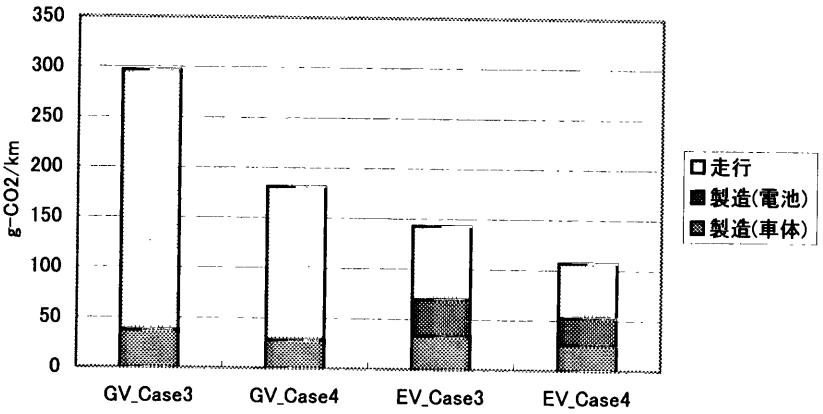
表 5 GV に対する EV の CO_2 排出量削減比（EV/GV 比）

	Case1	Case2	Case3	Case4
EV/GV比	64%	76%	48%	59%
EV(車体)/GV比	42%	50%	24%	29%



電池充放電回数：250cycle
燃費：Case1; 現状値、Case2; 目標値

図 5.2.3 ライフサイクル全体での走行距離あたりの CO_2 排出量(Case1,2)



電池充放電回数：500cycle
燃費：Case3; 現状値、Case4; 目標値

図 5.2.4 ライフサイクル全体での走行距離あたりの CO_2 排出量(Case3,4)

KAZ(EV)は GV に比べ、、Case1 で 64%、Case2 で 76%、Case3 で 48%、Case4 で 59%排出量が少ない。いずれにしろ EV の方が CO_2 排出量は少ないが、GV に比べてせいぜい半分になるかどうかというレベルである。EV 走行時の CO_2 排出源はほとんど電力であるため、原子力発電が中心の夜間電力を利用すれば削減効果はさらに大きく評価される。しかしながら、車体製造からの CO_2 排出が大きいため、原子力発電やその他自然エネルギー起源の電源にシフトするなどして走行時の CO_2 削減を追求しても、これより少なくなることはない。

燃費の向上は走行時の負荷の大きい GV に、寿命の延長は製造時の負荷の大きい EV に有利に働く。従って EV の特性を伸ばすためには、電池寿命の延長、電池の小型化・軽量化による積載容量の増大といった、生涯走行距離をのばすための改良が比較的重要であるといえるであろう。

6. おわりに

以上の結果をまとめる。

・開発を進めてきたLCA支援ツールを利用して、電気自動車KAZのLCAを行った。今後、より多くの技術メニューをカバーできるようにする必要がある。

・積み上げによる技術データと産業分析用産業連関表とを接続する分析手法を、具体的なデータをもとに検討した。

・KAZの製造・走行時のCO_2排出量の推計を行った。

－製造過程においてはKAZの負荷は大きく、特にリチウムイオン電池とモーターの負荷が大きい。

－走行時といえど、全くのゼロエミッションではありえない。

－走行・製造全体でEVをGVと比較すると、４～５割程度の削減効果が期待できる。

－EVの特性を伸ばすためには、蓄電池とモーターの小型化・軽量化による製造時負荷の削減、電池寿命の延長や積載容量の増大といった生涯走行距離をのばすための改良が重要である。

参考文献

[1] 産業技術審議会他(1997)、「リチウム電池を対象にしたライフサイクルアセスメントの実施」。

[2] KAZ 公式 Web Site : http://www.sfc.keio.ac.jp/%7Ehiros/kaz/

[3] 朝倉啓一郎他(2001)、「環境分析用産業連関表」、慶應義塾大学産業研究所叢書。

[4] 吉岡理文、石谷久、松橋隆治(1996)「線形計画法を利用したライフサイクルアセスメント手法の研究」、シミュレーション、15、72-78。

[5] 総務庁(1999)「平成７年産業連関表 総合解説編・計数編」。