

燃料電池自動車のライフサイクル影響評価

武蔵工業大学 環境情報学部
環境情報学科 伊坪徳宏研究室
0431030 後呂 考亮
0431052 菊池 惇恵
0431134 程 飛

目次

第1章 序論

- 1.1 社会的背景
- 1.2 研究動向
- 1.3 今後の課題

第2章 研究目的

- 2.1 研究目的

第3章 研究方法

3.1 調査範囲

- 3.1.1 評価対象製品
- 3.1.2 機能単位
- 3.1.3 基準フロー
- 3.1.4 システム境界

3.2 データ収集方法

- 3.2.1 FCV および GV の共通部品、固有部品のデータ作成方法
- 3.2.2 燃料電池スタックの製造プロセス
- 3.2.3 FCV の製造プロセス
- 3.2.4 自動車走行プロセス（自動車用燃料製造・輸送・供給プロセス）

3.3 計算方法

- 3.3.1 評価対象物質
- 3.3.2 影響領域
- 3.3.3 使用するソフトウェア

第4章 結果

4.1 燃料電池スタックの結果

- 4.1.1 燃料電池スタックのインベントリ結果
- 4.1.2 燃料電池スタックの特性化結果

4.2 FCV の結果

- 4.2.1 FCV のインベントリ結果
- 4.2.2 FCV の特性化結果
- 4.2.3 FCV の統合化結果

第5章 考察

- 5.1 燃料電池スタックの耐久性を向上したときのインベントリ結果
- 5.2 白金製造段階の負荷を低減(採掘場所の変更)した時のインベントリ結果
 - 5.2.1 白金採掘時のCO₂、SO₂排出量の南アフリカとロシアの比較
白金採掘時のエネルギー消費量の比較

1kwh 発電する時の CO₂、SO₂ 排出量の比較

5.3 リサイクルされた白金を使用したときのインベントリ結果

5.4 水素製造時の改質効率を向上したときのインベントリ結果

5.5 FCV（現状）、（改善ケース）、GV のインベントリ結果

5.6 FCV（現状）、（改善ケース）、GV の特性化統合化結果

5.7 FCV（現状）、（改善ケース）、GV の統合化結果

第6章 結論

第1章 序論

1.1 社会的背景

1.1.1 自動車と環境問題

2005年2月16日、京都議定書が発効された。これによって、大気中の温室効果ガス（二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、HFCs、PFCs、SF₆）の増加が地球を温暖化し、自然の生態系等に悪影響を及ぼすおそれがあることが人類共通の関心事であると確認された。この議定書で設定された日本における削減目標は、2008年から2012年までの期間中に、温室効果ガス6種類の合計排出量を1990年に比べて少なくとも6%削減することである。しかし、日本ではプラス・マイナス・ゼロどころかプラス8%と増加しており、効果的な対策も実施できずにいるため、目標の達成はすでに絶望視されている。そこで、日本における温室効果ガスの排出量を排出源別に見てみると、工場からの排出は減少傾向にあるものの、運輸・業務（事業所等）・民生部門の増加が目立つ。特に自動車は自家用車の氾濫により2004年現在で約50%増加した。このように、日本が目標を達成するためには、自動車から排出される温室効果ガスの削減が緊急の課題である。

ガソリンや軽油を燃料とする自動車は走行時にCO₂を排出する。この自動車から排出されたCO₂の量は、エネルギー消費に伴う排出量に次いで大きく、地球全体のエネルギー消費のうち18%を占める。さらに自動車の環境への影響はCO₂のみにとどまらない。排気ガスには大気汚染や酸性雨の原因である窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）、また肺に沈着し呼吸器疾患を起こす粒子状物質が含まれており、これらも重大な影響を及ぼしている。よって、CO₂の排出量を減らしその他の有害物質を排出しないようにすることが、地球環境を守る為の急務な課題だ。

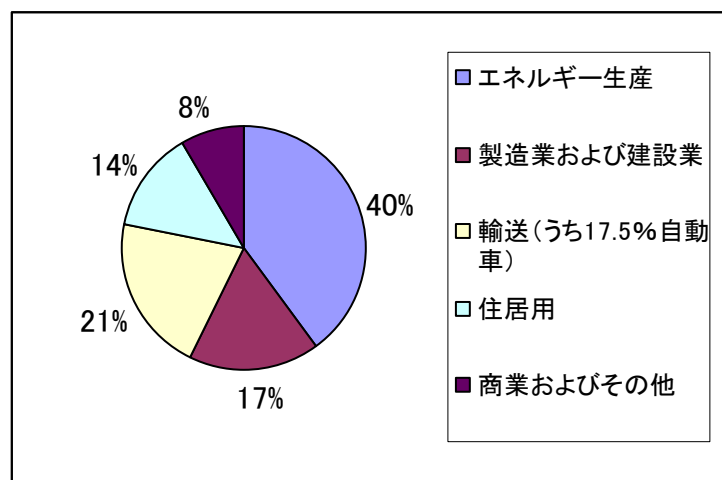


図 1.1-1 燃料消費による世界規模での分野別CO₂排出割合（2002年）¹⁾

1.1.2 水素エネルギー社会への期待と課題

ガソリンやディーゼルに取って代わる自動車用燃料の候補として期待されているのが燃料電池である。燃料電池とは水素を燃料として化学反応を利用して電気を作る一種の発電機のようなものである。この燃料電池の燃料となる水素は燃やしてもほとんど有害ガスが出ないため、クリーンなエネルギーであると考えられている。しかし、水素エネルギーの普及にはまだ多く課題がある。燃料電池自動車（以下 FCV: Fuel Cell Vehicle とする）の場合、氷点下での始動が出来ないこと、航続距離がガソリン自動車（以下 GV: Gasoline Vehicle とする）と比べて短いことなどである。また、社会に普及させるためには、水素の製造、貯蔵、輸送、利用を含めた全体のインフラを構築することが必要不可欠とされている。

1.1.3 燃料電池システム、FCV の研究動向

このような期待から、燃料電池の技術開発が進められている。今後、燃料電池が社会に普及していくためには、大幅なコスト削減と、主に耐久性・信頼性の確保を軸とする高性能化の 2 点が技術的課題として挙げられる。一般的に、耐久性の向上にはコスト増が不可避であり、本来コスト低減のニーズには反している。そこで電機科学、物理学などの幅広い分野の融合による革新的な技術の登場が待ち望まれている。

経済産業省が中心となって「水素・燃料電池実証プロジェクト (Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project)」²⁾が実施された。このプロジェクトは走行性能、信頼性、環境特性、燃費等の走行データ、水素充填ステーション使用データ等を取得・評価するものである。この取り組みは、異なる燃料・方式による水素供給設備を並行して運用する世界初の取り組みであり、今後のFCVの本格的量産と普及への道筋を整えていくきっかけとなることが大いに期待されている。

1.2 研究動向

このように、まだまだ課題の解決が必要であるがエネルギー供給源の多様化や環境面への優位性から注目されているFCVは、将来の自動車としてハイブリッド自動車とならんで有力な候補となっている。自動車の走行時における環境優位性が述べられているFCVであるが、一方で燃料電池スタックなどの製造に多くのエネルギーを必要とするなど、自動車製造時におけるCO₂排出量はガソリン自動車と比較して大きくなってしまふことが予想される。そのため、FCVをライフサイクル全体で定量的に評価することが必要である。燃料電池は開発途上の技術であり、LCAの評価が行われた例はあまりない。特にFCVに関するLCAの評価はほとんどないのが現状である。

これらの数少ない既存研究の中でも、FCVの製造から廃棄・リサイクルまでのすべての工程について、ヒヤリングによるデータをもとに評価し、GVとの比較を実施しているのが「燃料電池自動車の普及に関する技術に対するライフサイクル影響評価等に関する調査」（みずほ情報総研、2005年10月）³⁾である。この報告書では、FCVのLCAを実施する際に必要となる情報やデータを、現在収集できる情報をもとに整備するとともに、これらを用いてFCVのLCAを実施し、GVが環境に与える負荷との比較を行っている。また、今後の技術開発を考慮した評価も行われており、将来的にはFCVがGVよりも環境負荷の削減に効果的であるとしている。ただし、この調査における評価対象物質はCO₂に限られており、統合化は行われていない。

また、(株)富士通研究所が2006年12月に「LIMEを用いたマイクロ燃料電池の環境影響評価」の中で、携帯電話やノートPCに利用可能なマイクロ燃料電池の評価を行っている。この評価ではLIMEによりマイクロ燃料電池の社会コストが分析されており、素材の環境負荷が大きく、全体の約80%を占めることが分かっている。

1.3 今後の課題

1.2の研究動向で示したとおり、FCVのLCAは一通り行われている。しかし、燃料電池や水素に関する技術開発はまだ完成されておらず、今現在も進歩を続けているため、より新しい情報を取り入れ、現段階におけるLCAを行うことが必要である。また、評価対象物質がCO₂に限定されているので、今後は統合化を行うことも求められる。

第2章 研究目的

2.1 研究目的

本研究では、現段階における燃料電池スタックとFCVのLCAを実施し、そのライフサイクルにおける環境負荷を明らかにすることを目的とする。さらに今後考えられるシナリオに基づき燃料電池自動車をガソリン自動車と比較し、FCVの環境優位性を検証する。

第3章 研究方法

3.1 調査範囲

3.1.1 評価対象製品

(1) 燃料電池自動車(FCV)

出力 : 75 kW (ガソリンエンジン 1,500cc 相当クラス)

燃料電池種類：固体高分子型燃料電池（PEFC）

燃料搭載方法：高圧水素（35MPa）

動力システム：ハイブリッド型（補助電源デバイス）

使用燃料種：水素

FCV、GV それぞれの重量構成比を（図 3.1-1、3.1-2）に示す。FCV は水素タンクやモータの重量が大きく、全体としても GV よりも約 300kg ほど大きい値を示している。

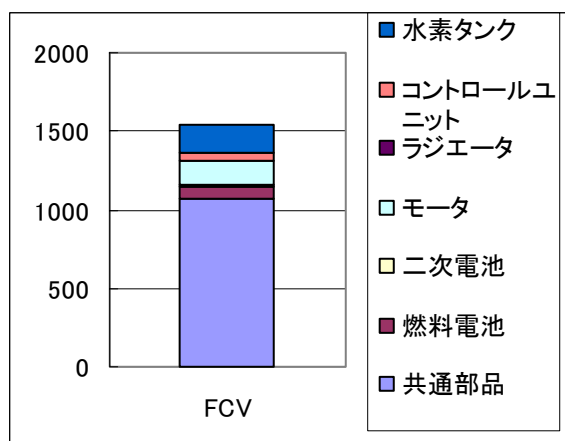


図 3.1-1 FCV の重量構成

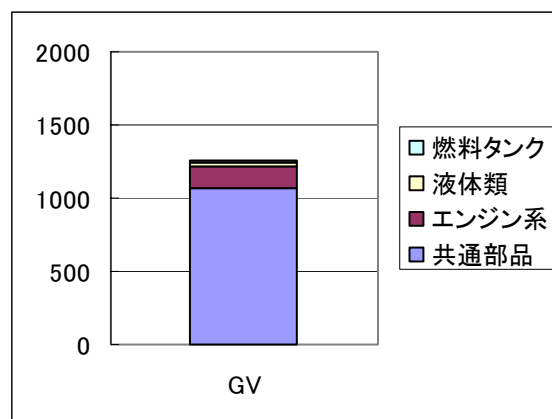


図 3.1-2 GV の重量構成

実際に開発された FCV や、その FCV に燃料を供給する水素ステーションについて調べるために、東京ガス（株）千住テクノステーションを見学するとともに、ヒアリングをさせていただいた。

また、実際にトヨタの FCHV（図 3.1-3）とダイムラー・クライスラーの F-Cell（図 3.1-4）という FCV に試乗させていただいた。試乗したことで、GV よりもレスポンスが非常に良くて、発進時にあっという間に加速できるということ、走行時、停車時ともにコンプレッサーの音しか聞こえないくらい静かであることが体感できました。



図 3.1-3 トヨタ FCHV (東京ガス 千住水素ステーションにて)



図 3.1-4 ダイムラー・クライスラー F-Cell (東京ガス 千住水素ステーションにて)

(2) 燃料電池の種類とその特徴

燃料電池は大きく分けて4つある。これらの特徴を以下の表にまとめる。

表 3.1-1 燃料電池の種類とその特徴³⁾

	固体高分子形燃料電池 (PEFC)	リン酸形燃料電池 (PAFC)	熔融炭酸塩形燃料電池 (MCFC)	固体酸化物形燃料電池 (SOFC)
電解質	高分子電解質膜	リン酸	Li/Na/K 系炭酸塩	ジルコニア系セラミックス
作動温度	常温～90℃	150～200℃	650～700℃	700～1000℃
発電効率	30～35%	36～38%	40～50%	40～50%
開発状況	実用化間近	実用化	研究段階	研究段階
主な用途	家庭用コージェネ 自動車用 モバイル機器用	工業用コージェネ 業務用コージェネ	大規模発電 分散発電	大規模発電 分散発電

このように、燃料電池はモバイル機器用の小型のものから大規模な発電を行う大型のものまでさまざまである。この中でも、近年注目されているのが固体高分子形燃料電池 (PEFC) である。PEFC は作動温度が低く、装置の小型化が可能なことから、家庭用コージェネレーションシステムや FCV、携帯電話などのモバイル機器の電源として期待されている。

(3) 燃料電池スタックの構造としくみ

燃料電池はセルを構成単位としている。セルとは平たい乾電池のようにプラスとマイナスのセパレータ (図 3.1-5) が固体高分子膜 (図 3.1-6) をはさんだ構造をしている。プラス極 (酸素極) とマイナス極 (水素極) のセパレータには数多くの細い溝が掘られていて、ここを外部から供給された酸素と水素が通ることによって反応がおこる。一組のセルでできる電気の電圧はわずか 0.7 ボルト程度であるため、たくさんの電気を得るためにはたくさんのセルを重ね合わせ、少ない電気でよければ少ないセルで済むしくみになっている⁴⁾。今回の評価の対象となる FCV の場合、625 枚のセルを重ね合わせて発電を行っている。また、発電効率はセルの枚数に関係しない。このセルを何重にも重ね合わせたものをスタックと呼ぶ (図 3.1-7)。なお、図 3.1-2～3.1-4 は、武蔵工業大学工学部環境エネルギー工学科の高木靖雄先生の研究室においてヒヤリングを行った際に撮影させていただいたものである。

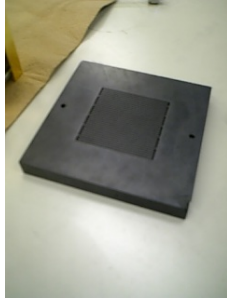


図 3.1-5 セパレータ



図 3.1-6 固体高分子膜

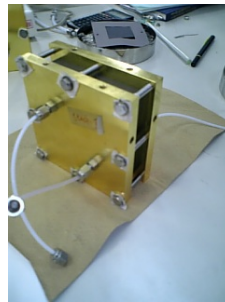


図 3.1-7 燃料電池スタック

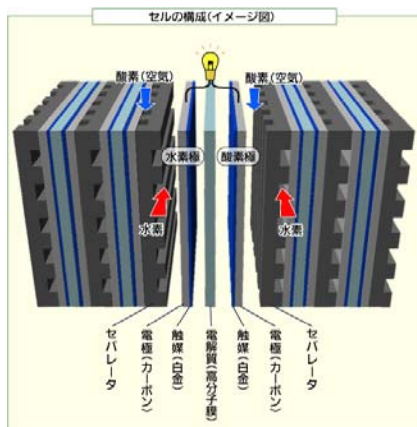


図 3.1-8 セルの構成⁴⁾

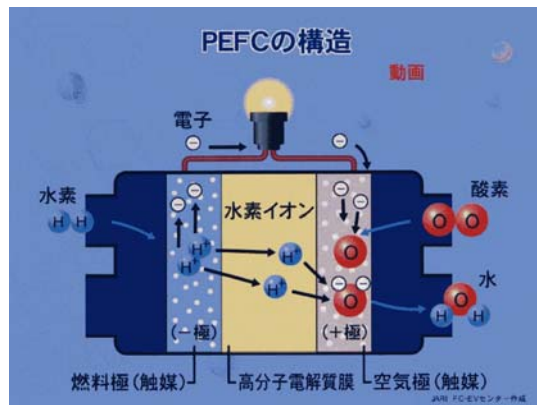
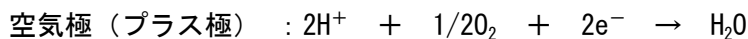
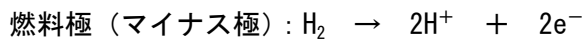


図 3.1-9 発電の仕組み⁵⁾

発電時の反応式



(4) FCV の構造としくみ

FCV は燃料電池で水素と酸素の化学反応によって発電した電気によりモータを駆動して走る。FCV に使用される燃料としては、高圧ボンベに充填した圧縮水素を燃料電池に供給する圧縮水素方式と、タンクに貯めたメタノールから改質装置により水素を取り出して供給するメタノール改質方式の 2 つが挙げられるが、今回は燃料電池のメリットである発電効率が高く、自動車会社各社の開発の主流である圧縮水素方式を採用するものとする。

3.1.2 機能単位

本来であれば、FCV が提供する機能とその寿命をもって機能単位とするべきであるが、FCV は現在研究段階であり、正確な寿命が分からないため、比較対象となる GV の機能と寿命を機能単位とする。具体的には、5 人乗りの 1500cc 相当のガソリン自動車が有するものと同等の性能を有した自動車 (FCV 及び GV) が、その全生涯で 10 万 km を走行する際に提供する機能を本研究の機能単位とした。

3.1.3 基準フロー

上記の機能単位を満たす FCV 及び GV の基準フローは以下の通りである。

- ・ FCV : FCV (FC : 75kW、補助充放電デバイス搭載) 1 台
- ・ GV : GV (1500cc) 1 台

3.1.4 システム境界

FCV、GV ともに部品製造プロセス (燃料電池、水素タンクなど FCV の固有部品を含む)、自動車製造プロセス、自動車走行プロセス (自動車用燃料製造・輸送・供給プロセス)、自動車廃棄・リサイクルプロセスの 4 段階に分けることができる。本来、LCA を行う上ではこれらの全てのプロセスを評価しなければならないが、FCV は現状では研究段階であり、廃棄・リサイクルされた例が見られなかったため、システム境界から外すこととする (図

3.1-10)。

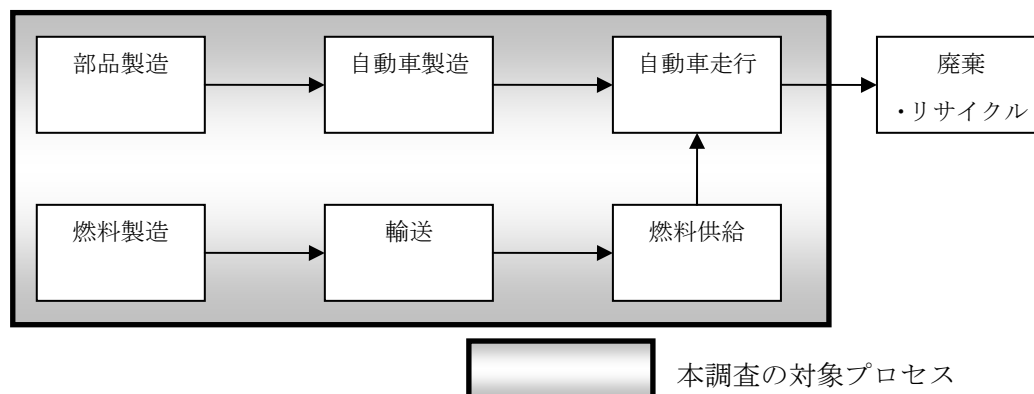


図 3.1-10 FCV および GV のシステム境界

3.2 データの収集方法

3.2.1 FCV および GV の共通部品、固有部品のデータ作成方法

本調査では、現在生産されている FCV の製造プロセスに関するデータが得られなかったため、GVに関するデータをベースに FCV の製造プロセスに関するデータを加え作成した。

具体的には、FCV の製造プロセスに関するデータは、GV 製造プロセスに関するデータからエンジンや燃料タンクなどの GV 固有部品の製造プロセスに関するデータを除いたものに、燃料電池や水素タンクなど FCV 固有部品の製造プロセスに関するデータを加える形で作成する（図 3.1-8）。

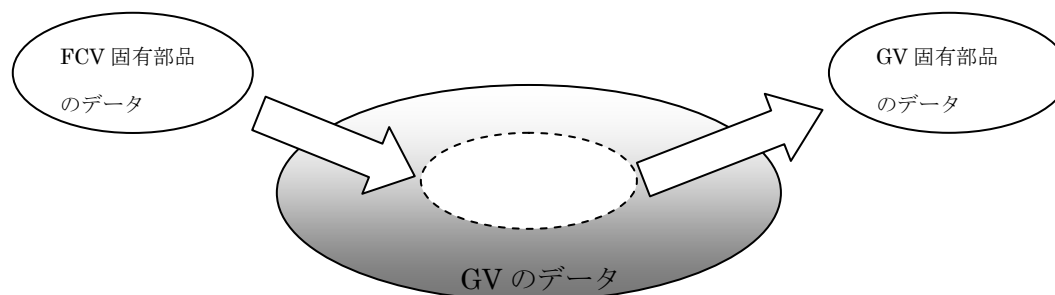


図 3.1-8 FCV の製造プロセス

FCV、GV それぞれ、その自動車にしか使用されない部品が存在する。これらの部品を FCV 及び GV の固有部品と呼ぶものとする。FCV の場合、燃料電池本体のほかに、発電さ

れた電気を一時的に貯めておくための二次電池、電力を駆動力に変換するモータ、また大量の酸素を供給するためのラジエータやその液、燃料の供給や二次電池の充放電をコントロールするためのコンピュータであるコントロールユニット、水素を蓄えておくための水素タンクが挙げられる。GV の場合、エンジンやマニホールド、ガソリンを蓄えておくための燃料タンク、排気管などが挙げられる。

表 3.2-1 FCV 及び GV の固有部品

	FCV	GV
固有部品	<ul style="list-style-type: none"> ● 燃料電池 (PEFC) ● 二次電池 (Li-ion 電池) ● モータ ● ラジエータ、ラジエータ液 ● (GV の 2 倍) ● コントロールユニット ● 水素タンク 	<ul style="list-style-type: none"> ● エンジン ● インテークマニホールド ● エキゾーストマニホールド ● ラジエータ ● 燃料タンク、排気管 ● 液体類 (ラジエータ液、エンジンオイル、トランスミッションオイル)

3.2.2 燃料電池スタックの製造プロセス

燃料電池スタックの製造フローは図に示したように、膜や電極、触媒から構成される膜電極接合体 (MEA) とセパレータ、シール、周辺部品それぞれを製造した上で組み立てるという流れである。

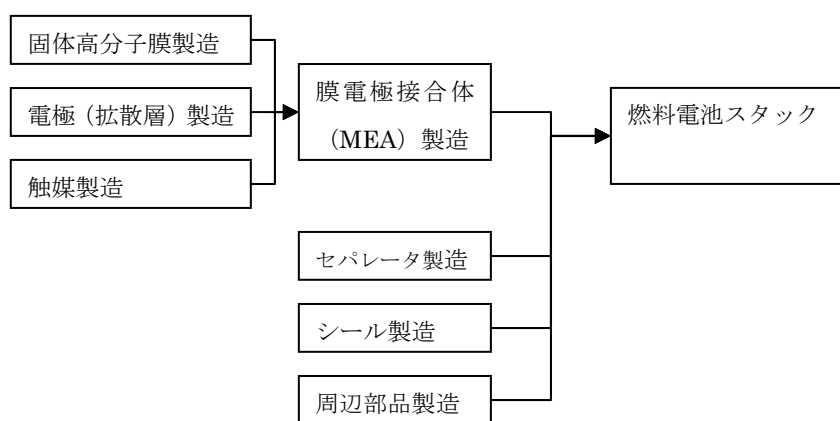


図 3.2-1 燃料電池スタックの製造プロセス

3.2.3 FCV の製造プロセス

この燃料電池スタックと二次電池、モータ、ラジエータ、コントロールユニット、水素タンクを合わせて、これらを FCV の固有部品とする。この固有部品と FCV、GV 共通の部

品（以下共有部品と呼ぶ）を組み合わせ、FCV の製造フローとする（図 3.2-2）。

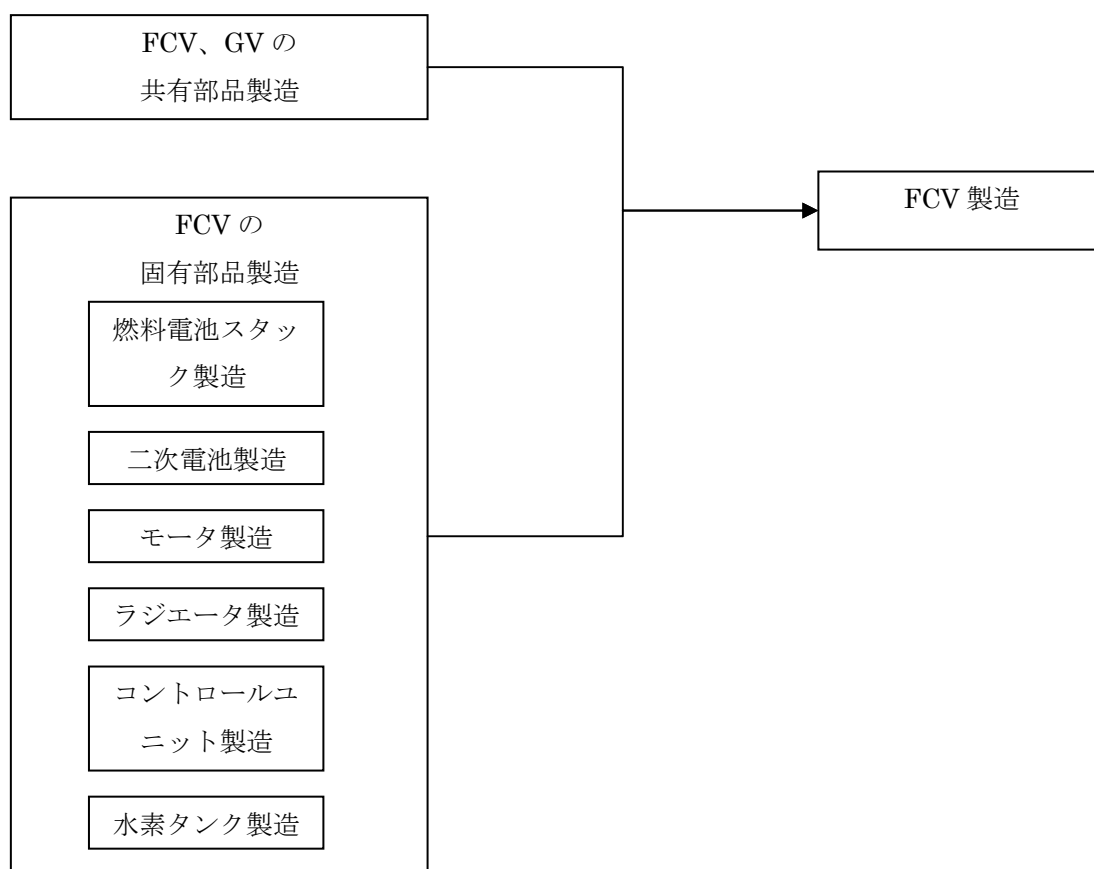


図 3.2-2 FCV の製造プロセス

3.2.4 自動車走行プロセス（自動車用燃料製造・輸送・供給プロセス）

走行プロセスとしては、FCV 及び GV 走行時の環境負荷のみだけではなく、走行時に使用する燃料（水素、ガソリン）の製造プロセスの環境負荷も考慮した。

(1) 水素製造プロセス

FCV の燃料となる水素は、化石燃料や水、バイオマスなどを原料とし、そこに含まれている水素成分を、熱や光、電力などを用いて取り出すことで製造される。このため、さまざまな方法によって製造することが可能である。

表 3.2-2 水素製造方法³⁾

		製法の確立	調査結果の有無	導入が予測される製法	導入情報	
改質	水蒸気改質（都市ガス）	○	○	○		
	水蒸気改質（灯油・LPG）	○	○	○		
	水蒸気改質（その他）	○	○	△	当面は難	
	自己熱改質	△	×	△	当面は難	
	部分酸化	○	×	×		
副生水素	石油産業	○	○	○		
	石油化学	○	×	○		
	苛性ソーダ	○	○	○		
	アンモニア	○	×	○		
	製鉄所	COG	○	○	○	
		BFG/LDG	×	×	△	
水電解	アルカリ水電解	○	○	△	課題あり	
	固体高分子電解質水電解	△	○	△	コスト高	
原子力利用	DME 改質	×	×	×		
	高温水蒸気電解	×	×	△	当面は難	
	熱化学分解	×	×	△	当面は難	
バイオマス		△	○	△	当面は難	
廃棄物		×	×	△	当面は難	
光触媒		×	×	△	当面は難	

上記のように、都市ガスや灯油、LPG から改質する方法と石油産業や苛性ソーダ、製鉄所の COG などの副生水素を利用する方法が実用化が期待できる。今回の調査では、この中でも既存の燃料のインフラが整っており、一番実用化に近いと考えられる都市ガスからの改質を対象として考える。

（２）水素輸送・供給プロセス

水素の輸送・供給プロセスとしては、高圧輸送、パイプライン輸送、液体輸送、水素吸蔵合金、炭素系材料、有機貯蔵材料、無機系貯蔵材料などが挙げられる。本調査では、ある程度確立されている輸送方法である、高圧輸送を対象として考える。

3.3 計算方法

3.3.1 評価対象物質

CO₂、NO₂、SO₂

3.3.2 影響領域

都市域大気汚染、有害化学物質、オゾン層破壊、地球温暖化、生態毒性、酸性化、富栄養化、光化学オゾン、土地利用、廃棄物、資源消費

3.3.3 使用するソフトウェア

本研究では、JEMAI-LCA Pro version2.0 を用いてインベントリ分析を実施する。影響評価にも JEMAI-LCA Pro version2.0 を用いる。

第4章 結果

4.1 燃料電池スタックの結果

4.1.1 燃料電池スタックのインベントリ結果

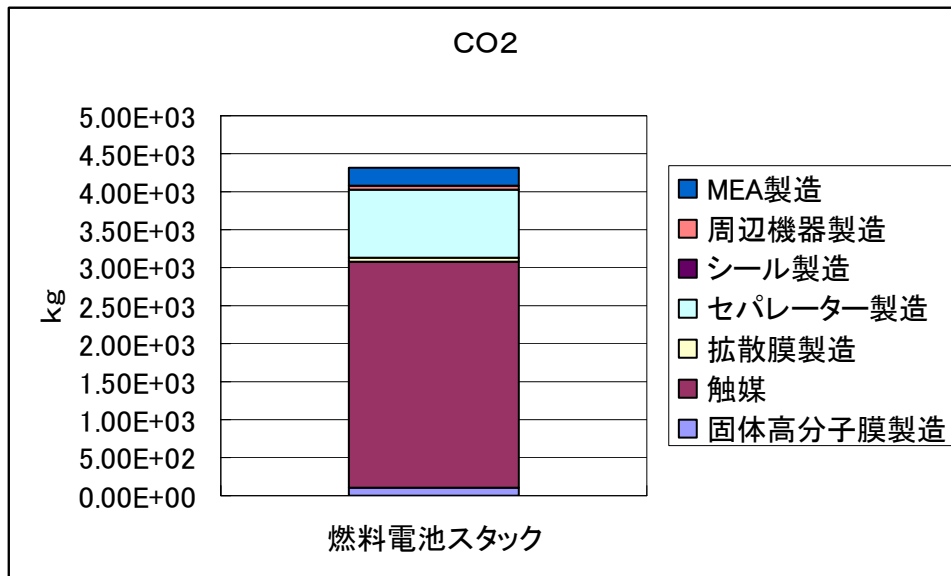


図 4.1-1 インベントリ結果(CO₂)

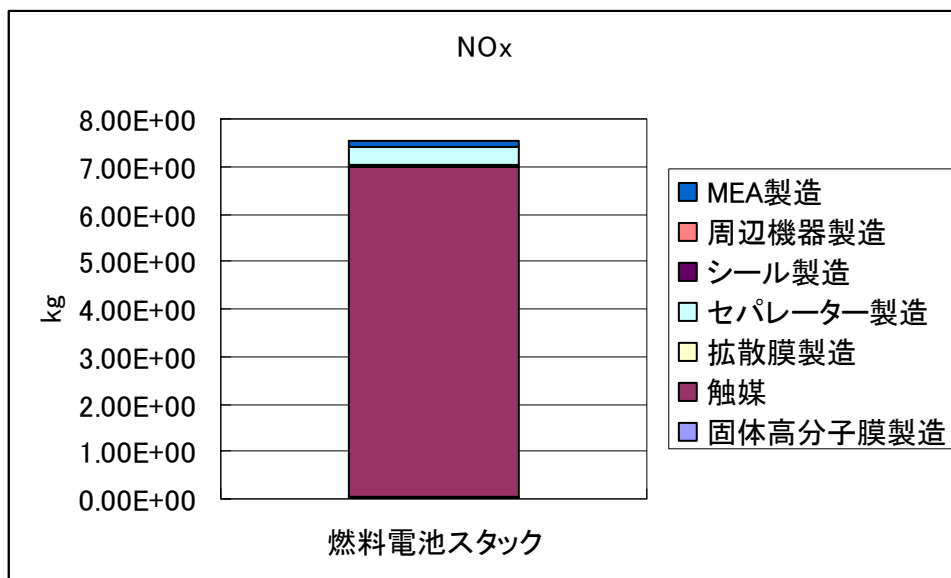


図 4.1-2 インベントリ結果

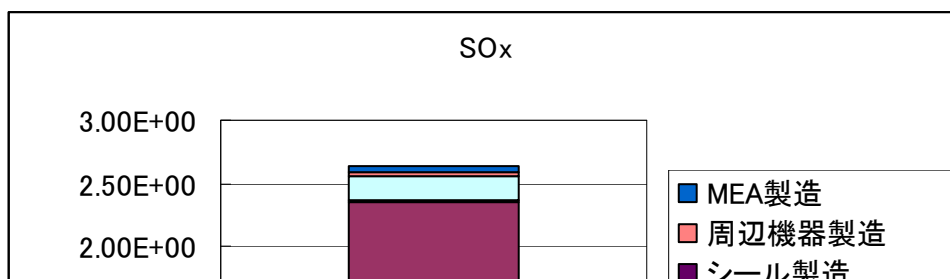
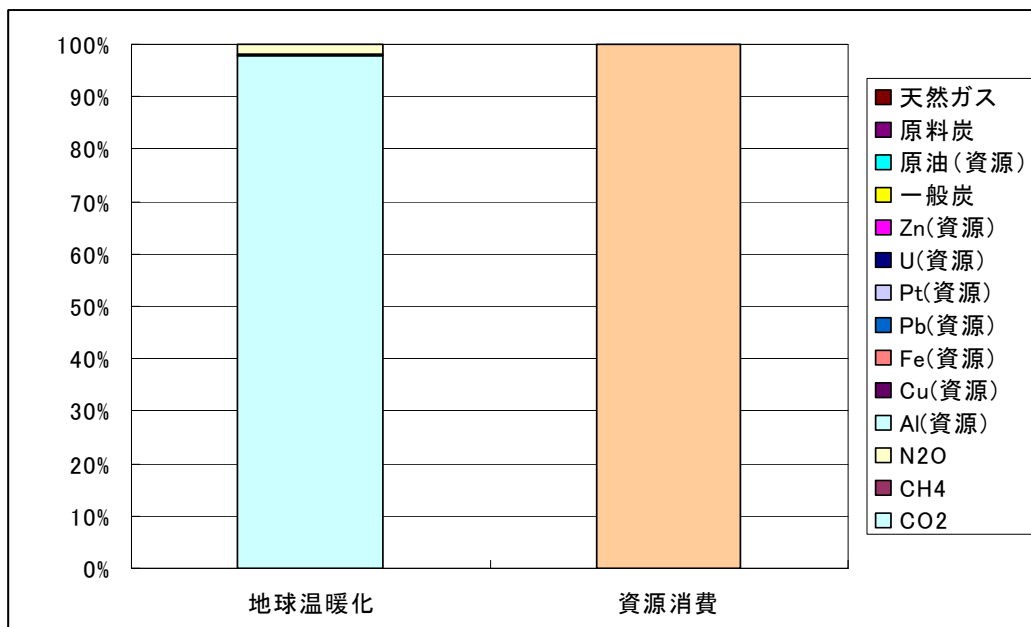


図 4.1-3 インベントリ結果(SOx)

CO₂,No_x,So_x すべてにおいて触媒の負荷が大きいことがわかる。これは、触媒に使われている白金の負荷が大きい。よって、白金の消費量の削減、リサイクルの推進による正味使用量の最適化、白金生産までのエネルギー効率の向上が課題として挙げられる。今回の調査では、白金の消費量と白金生産までの環境負荷原単位は文献データを利用している。白金の消費量は、近年の技術の向上に伴って大きく変化していることも考えられる。白金生産までの環境負荷は生産地域の電力構成や環境設備の導入状況によって大きく変わることもある。今回の結果の信頼性を向上させるためには、これらのデータを関係者にヒヤリングを行ったり、感度分析を行うなどして精度を上げていくことが特に重要な視点と考えられた。また、本調査ではリサイクルについて対象外とした。再生による環境負荷削減効果は潜在的に大きいことが想定されるので、今後は当該プロセスを含めた評価を行うことが課題であるといえる。

4.1.2 燃料電池スタックの特性化結果

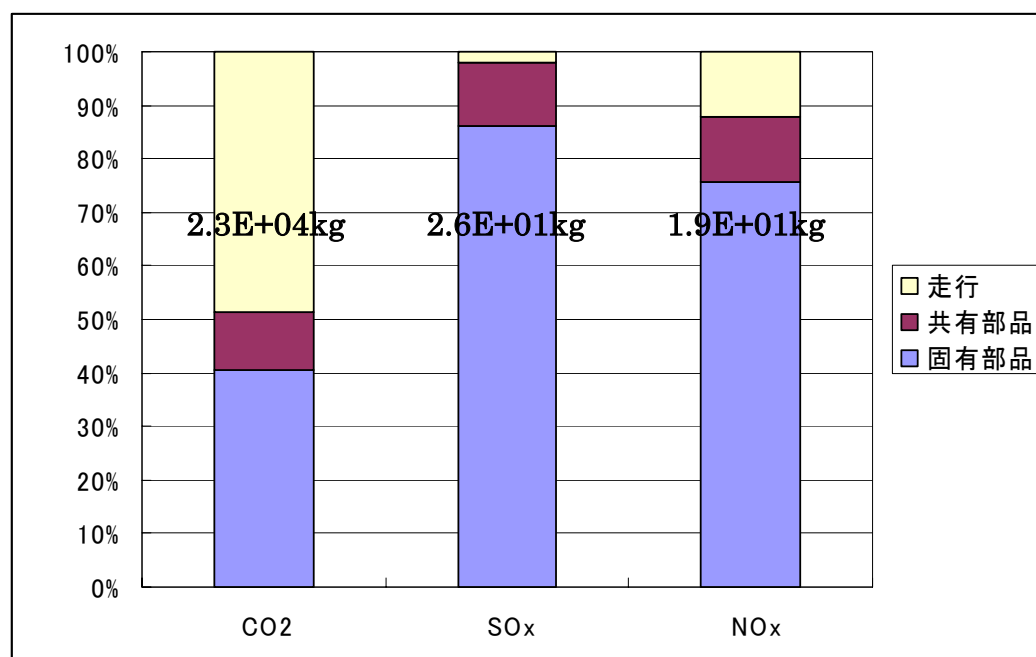


地球温暖化についてはCO₂の影響がほぼ100%となっている、資源消費については白金の影響が約100%ある。このことから、白金は資源消費、地球温暖化の両方の点で注目すべき点になっている。地球温暖化では、採掘時のエネルギーなど。資源消費では使用量の削減やリサイクルをしていくことが重要だと思われる。

4.2 燃料電池自動車の結果

4.2.1 燃料電池自動車のインベントリ結果

図
4.2
-1
イン
ベン
トリ
結果
F
CV
を



対象としたインベントリ分析結果を示す。CO₂では、固有部品製造と走行段階がほぼ同程度の環境負荷となった。NO_x,SO_xでは固有部品製造の負荷が大部分を占めた結果とは異なるものとなった。また、これは、燃料電池スタックでの触媒製造での負荷が、固有部品製造段階のCO₂ 52% NO_x 80% SO_x 59%を占めていることからこの負荷を削減させることが重要だと思われる。また、CO₂の走行段階の負荷は、水素燃料製造時の負荷を低減させることが重要だと思われる。

4.2.2 燃料電池自動車の特性化結果

ここでは地球温暖化と資源消費に注目した。また、白金の特性化の単位が無いので、白

金は金に変えて計算した。

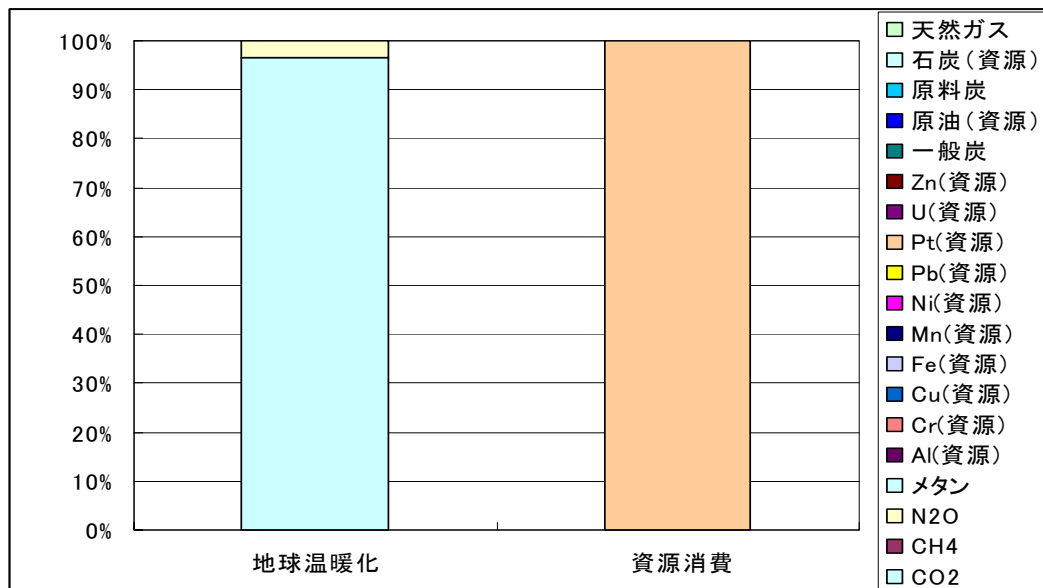


図 4.2-2 特性化結果

地球温暖化については、CO₂の寄与がほとんどを占めていることがわかる。また、資源消費では白金の負荷が大きい。先ほどの燃料電池スタックの結果と同じく白金の負荷の低減が重要な課題となっている。

4.2.2 燃料電池自動車の統合化結果

白金の特性化の単位が無いので、白金は金に変えて計算した。

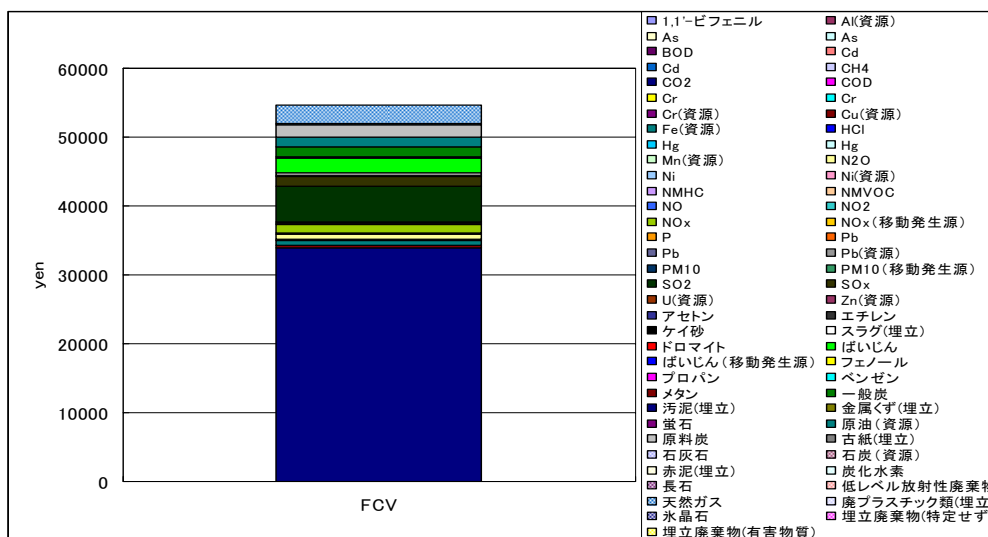


図 4.2-3 統合化結果

以上の結果から、FCV の環境影響を削減するための重要なポイントとして以下の事項を

挙げることができる。

- ・ 今回の調査では、専門家へのヒヤリング結果から燃料電池の耐用年数を 5 年として計算した。自動車の使用年数に相当する期間を燃料電池も利用することができれば、生産に関わる環境負荷を大きく削減することができるものと期待できる。
- ・ 燃料電池の中でも白金を使用する触媒の生産に関わる環境負荷が大きいことが分かった。よって、白金の生産までの環境負荷を削減することができれば全体の環境負荷の削減に寄与するものと考えられる。白金は最大産出国である南アフリカを想定して計算したが、他国での採掘を想定した場合環境負荷は大きく変化する可能性がある。
- ・ 白金の環境負荷の削減策としてリサイクルの推進による白金の消費量削減を行うことが有用であると考えられる。
- ・ NO_x, SO₂ と異なり、CO₂ は使用段階の環境負荷も大きいことが分かった。したがって、水素供給までの環境負荷を削減するために、水素生産効率を向上させることが重要であるといえる。

以上から FCV のライフサイクルでの環境影響を効率的に削減するためのシナリオとして以下のものについて考察した。

シナリオ

1. 燃料電池本体の耐久性を向上
2. 白金製造段階の負荷の低減(採掘場所の変更)
3. リサイクルされた白金の使用
4. 水素製造時の改質効率を向上

1.2.3. は固有部品製造段階の負荷を減らすため、特に 2.3 は白金採掘時の負荷を低減させる事を目的としている。4 は走行段階の負荷を減らすことも目的にしている。

第 5 章 考察

本章では 4.2 で示した FCV の環境負荷の削減のシナリオを導入した場合に環境影響がどの程度変化するのかについて検討した結果を示す。

また、ここでは導入前の結果を FCV(現状)、導入後の結果を FCV(改善ケース)とし、比較することとした。

シナリオ

1. 燃料電池本体の耐久性を向上
2. 白金製造段階の負荷の低減(採掘場所の変更)
3. リサイクルされた白金の使用
4. 水素製造時の改質効率を向上

5.1 燃料電池スタック本体の耐久性を向上したときのインベントリ結果

燃料電池スタックの耐久性が現在 GV の約半分(武蔵工業大学 工学部 高木先生のヒアリング結果より)なので、耐久性が、GV と同等まで向上した場合の結果を示す。

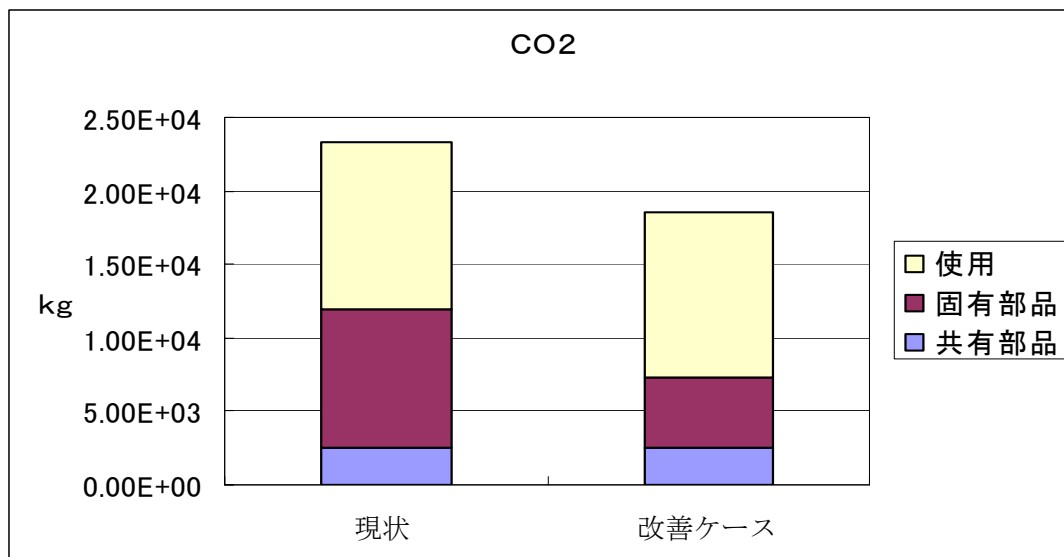


図 5.1-1 インベントリ結果(CO₂)

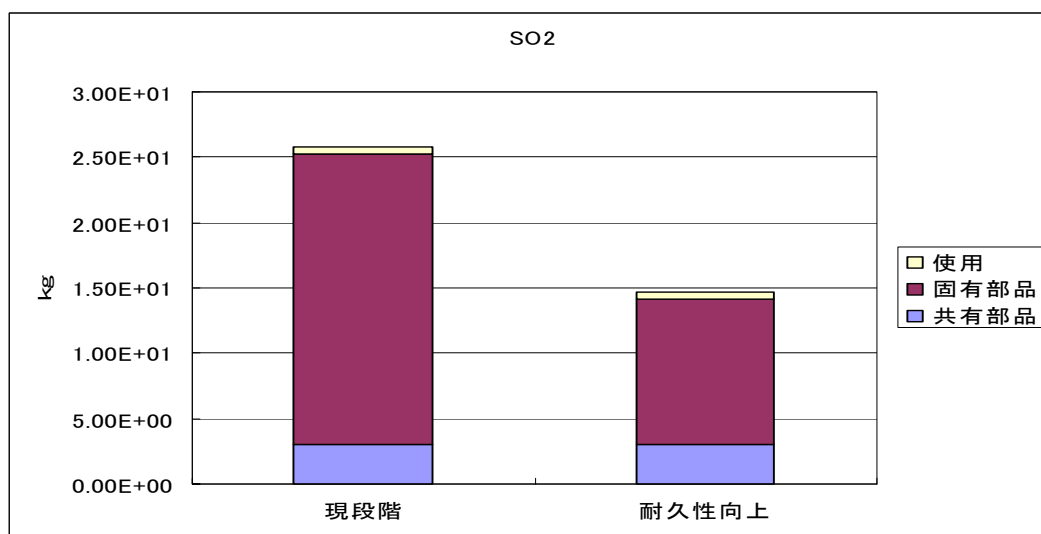


図 5.1-2 燃料電池本体の耐久性を向上したときのインベントリ結果(SO₂)

全体では57%、製造のみでは50%の削減となった。これは、燃料電池スタックの交換に伴う環境負荷を回避することができるためである。

5.2 白金製造段階の負荷の低減(採掘場所の変更)した時のインベントリ結果

白金の製造段階の負荷は国によって異なる。現在、白金の主な産出国は図 5.2-1 に示すとおり、南アフリカとロシアである。そこで、ロシアで白金を産出した場合を想定したときの感度分析を行った。

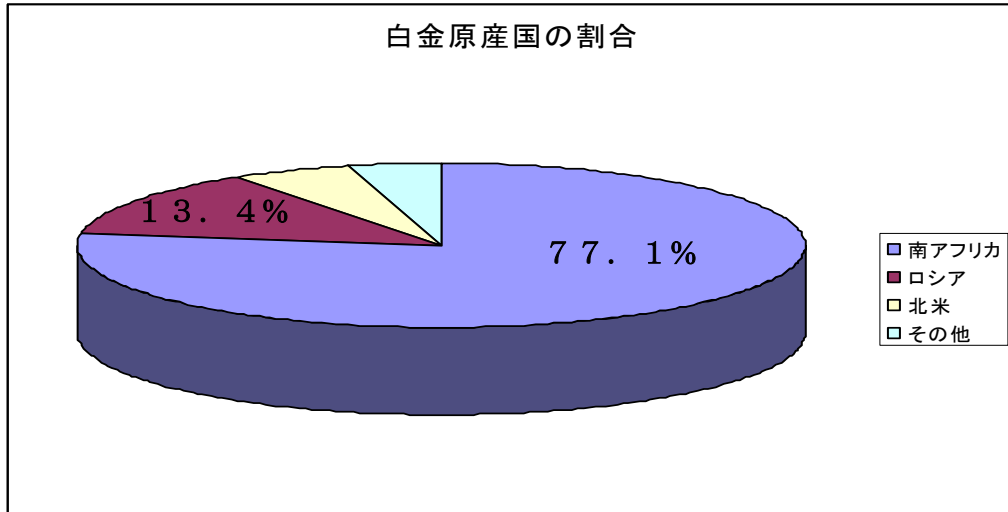


図 5.2-1 原産国の割合

5.2-2 白金 1 k g 採掘時のCO₂、SO₂排出量の南アフリカとロシアの比較

白金採掘時のエネルギー消費量の比較

1 k w h 発電する時の CO₂、SO₂ 排出量の比較

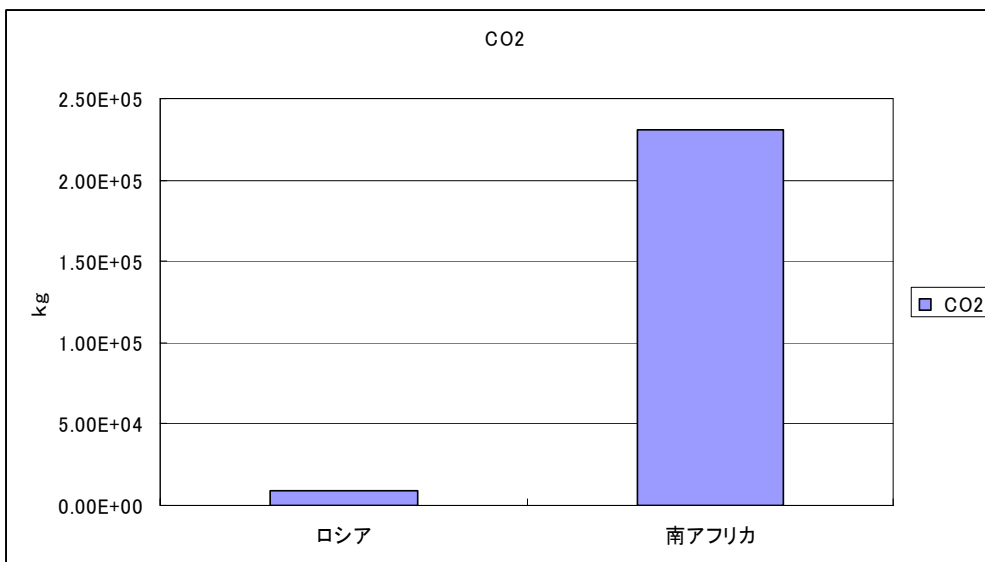


図 5.2-2 白金採掘時のCO₂排出量

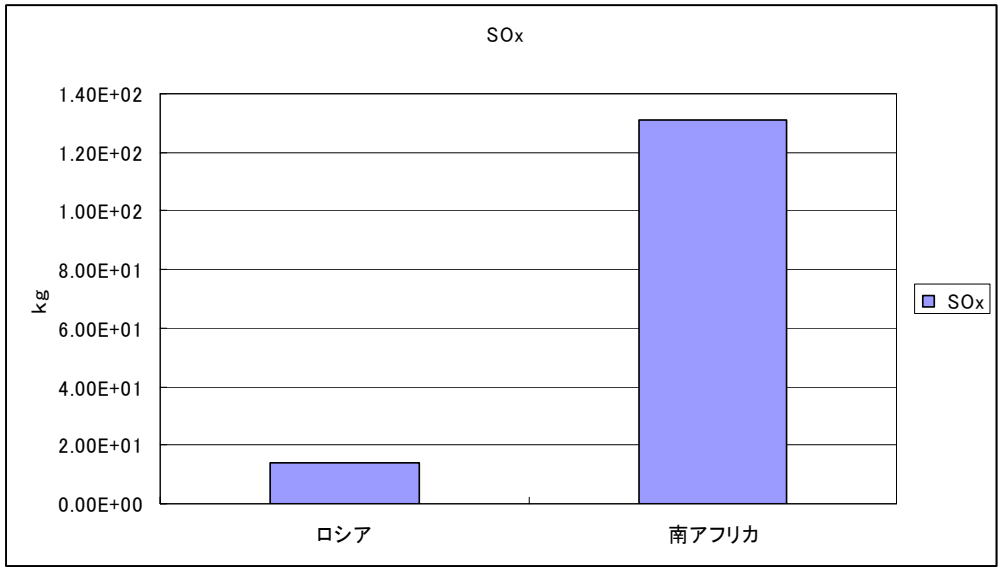


図 5. 2-3 白金採掘時のSO₂排出量

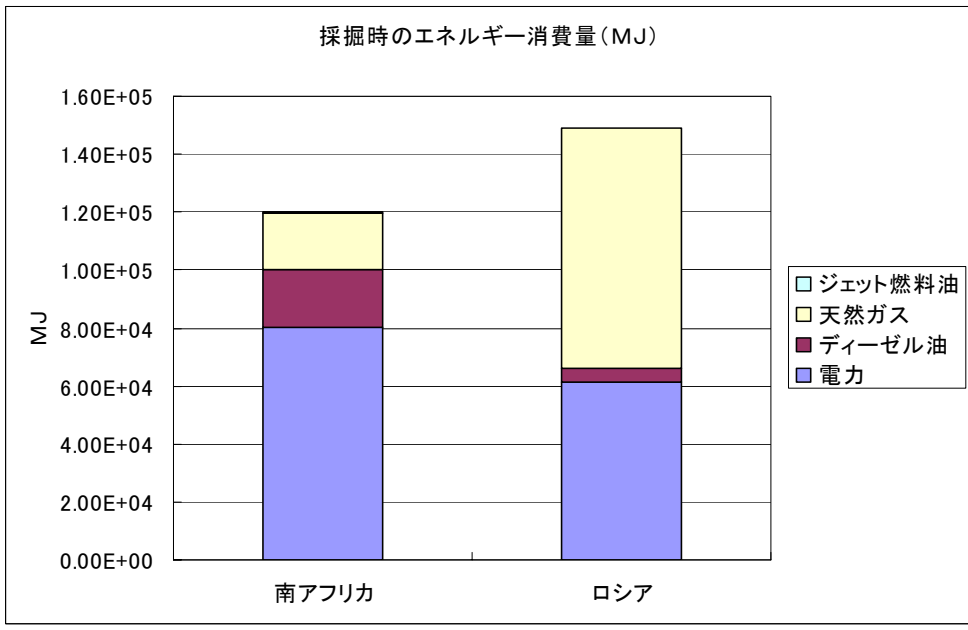


図 5. 2-4 白金採掘時のエネルギー消費量

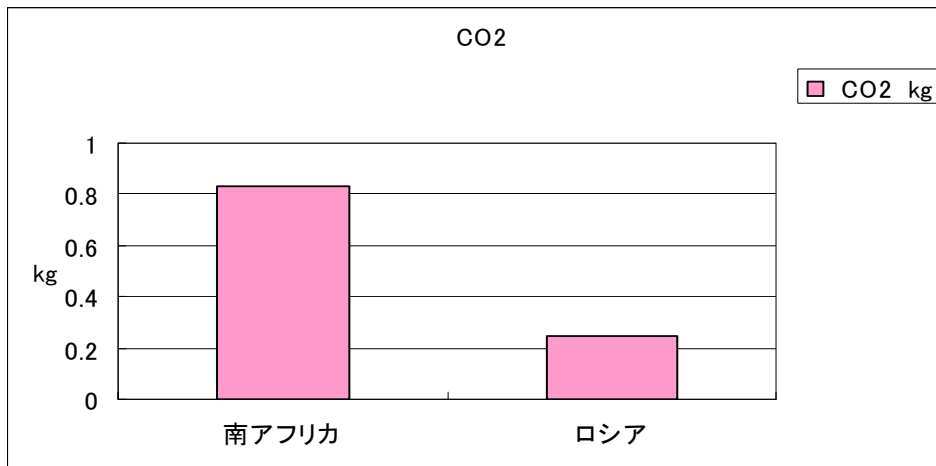


図 5.2-5 1 k w h 発電する時のCO₂排出量

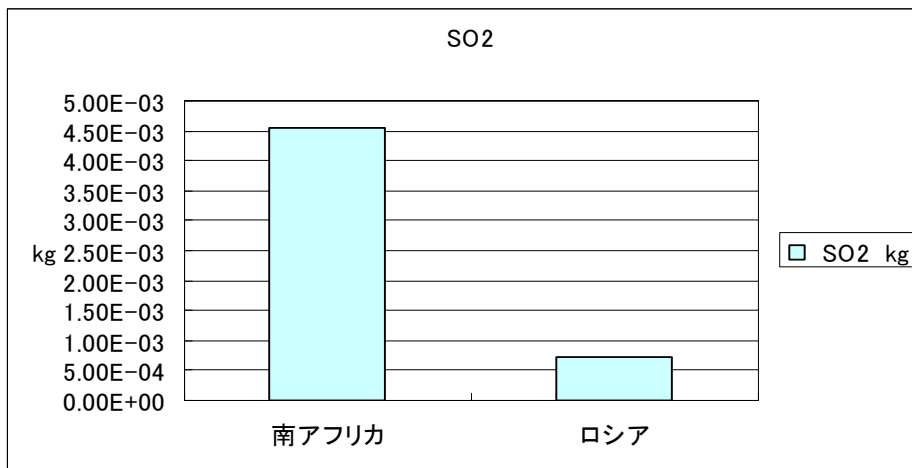


図 5.2-6 1 k w h 発電する時のSO₂排出量

白金採掘時のエネルギー消費量がロシアの方が多いがロシアは比較的負荷の少ない天然ガスを使用していることと、発電する時の環境負荷が少ないので白金を製造する時の環境負荷が小さいことがわかった。発電する際の環境負荷が小さいのは、南アフリカは発電を石炭の燃焼による火力発電が多い一方で、ロシアでは、天然ガスの燃料による火力発電と原子力発電が多いことからこのような結果が得られた。

5.2.3 白金製造段階の負荷の低減(採掘場所の変更)した時のインベントリ結果

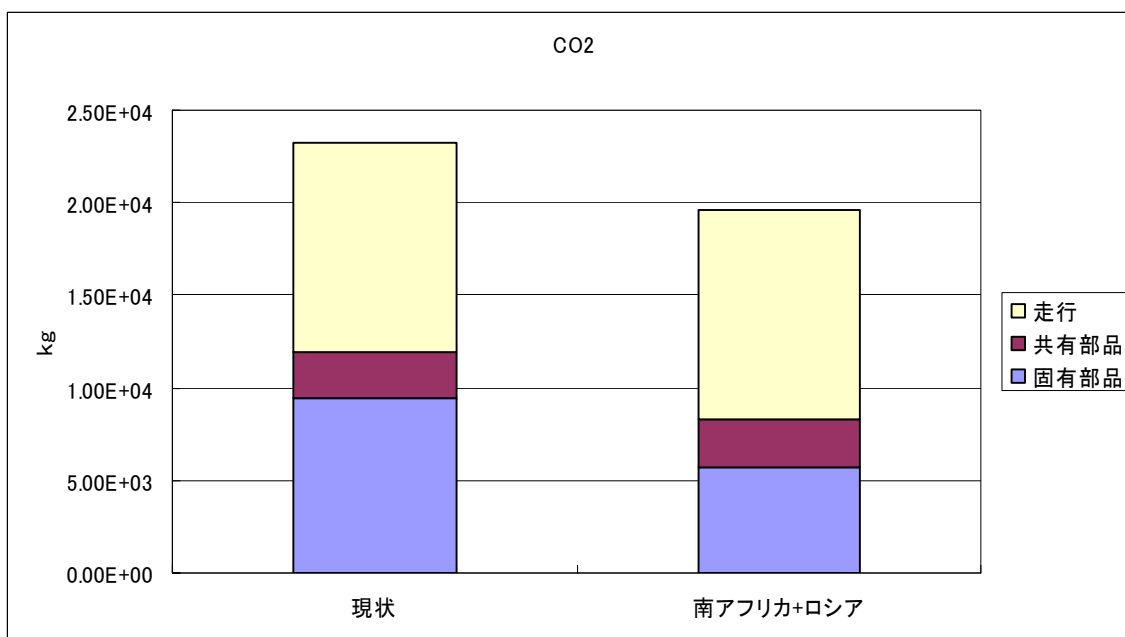


図 5.2-6 インベントリ結果 (CO₂)

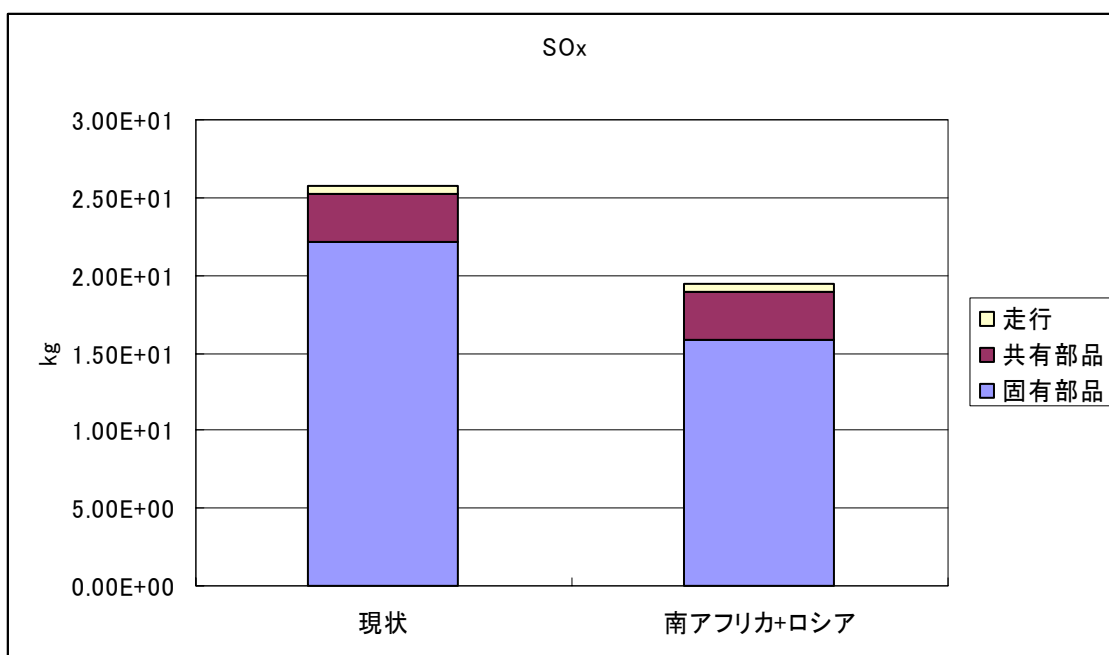


図 5.2-7 インベントリ結果 (SO₂)

CO₂ では、全体で 8%、製造のみで 32%の削減となった。SO_x では、全体で 43.06 %、製造のみで 50.05%の削減となった。この理由は上に示したとおりである。この結果により白金の負荷を低減させるためには、採掘場所や採掘場所のエネルギー効率を考慮することが

重要だということがわかった。

5.3 白金をリサイクルした場合のインベントリ結果

GVに使用されている白金のリサイクル率が70% (Roskill The Economics of Platinum group metals 1999より)なので、ここでも燃料電池に利用する白金のリサイクル率を70%と想定して計算した。

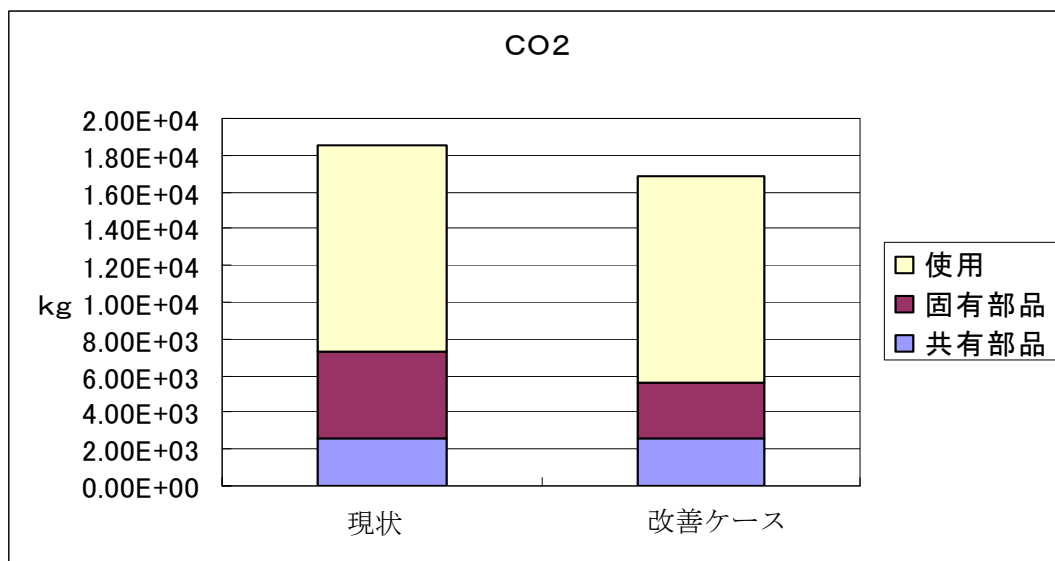


図 5.3-1 インベントリ結果(CO₂)

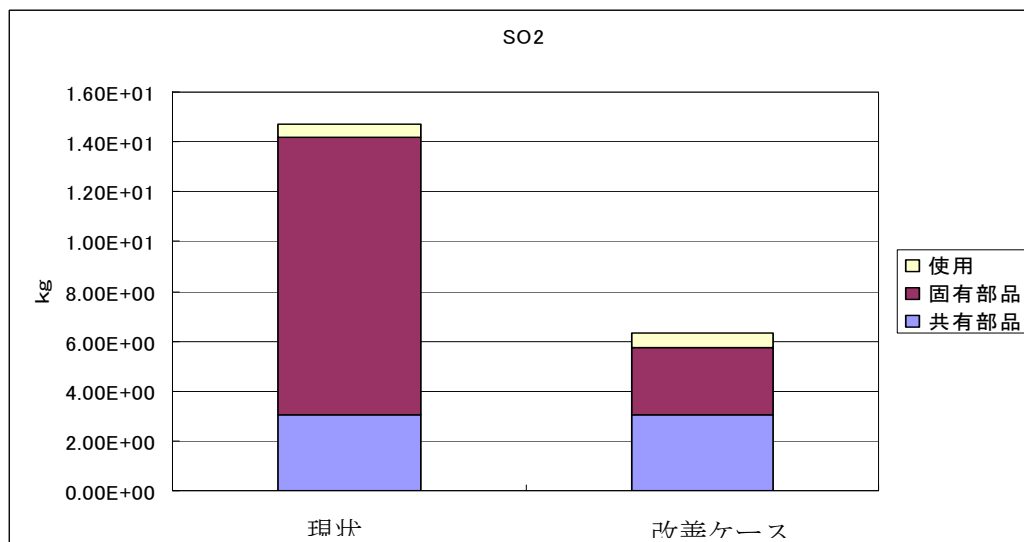


図 5.3-2 インベントリ結果(SO₂)

CO₂では、全体で9%、製造のみで35%の削減となった。SO_xでは、全体で57%、製造のみで76%の削減となった。これは、白金のリサイクル時に発生する環境負荷より、採掘時の環境負荷の方がはるかに大きいことを示している。

5.4 水素製造時の改質効率を向上した時のインベントリ結果

エネルギー総合工学研究所によれば、燃料の改質効率を現状の70%から80%まで向上させることができるものと考えられている。そこで、燃料の改質効率の向上に伴う環境負荷の削減への寄与について評価した。図5.4-1にその結果を示す。

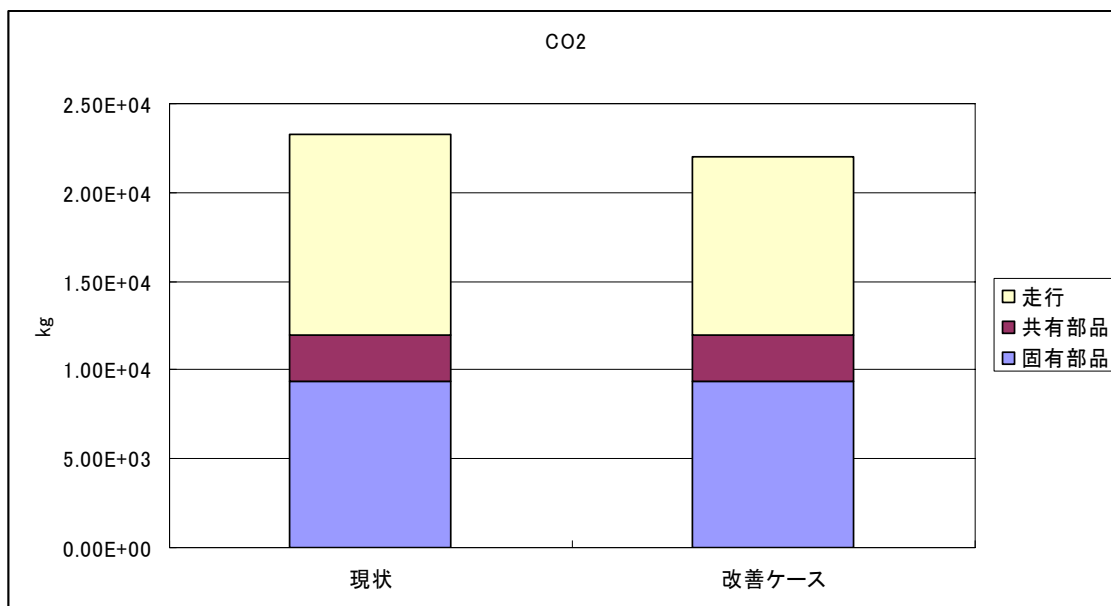


図 5.4-1 インベントリ結果 (CO₂)

全体では7%、走行のみでは10%の削減となった。この結果は単純に改質効率をあげたときの値なので、今後さらに走行段階での負荷を下げるためには、都市ガスからの改質のみではなく、他の水素調達までのシステムについても合わせて検討することが求められる。

5.5 FCV (現状)、(改善ケース)、GV のインベントリ結果の比較

FCV (現状)、(改善ケース)、GV のインベントリ結果を比較した (改善ケース)はシナリオ1～4すべてを考慮に入れている。

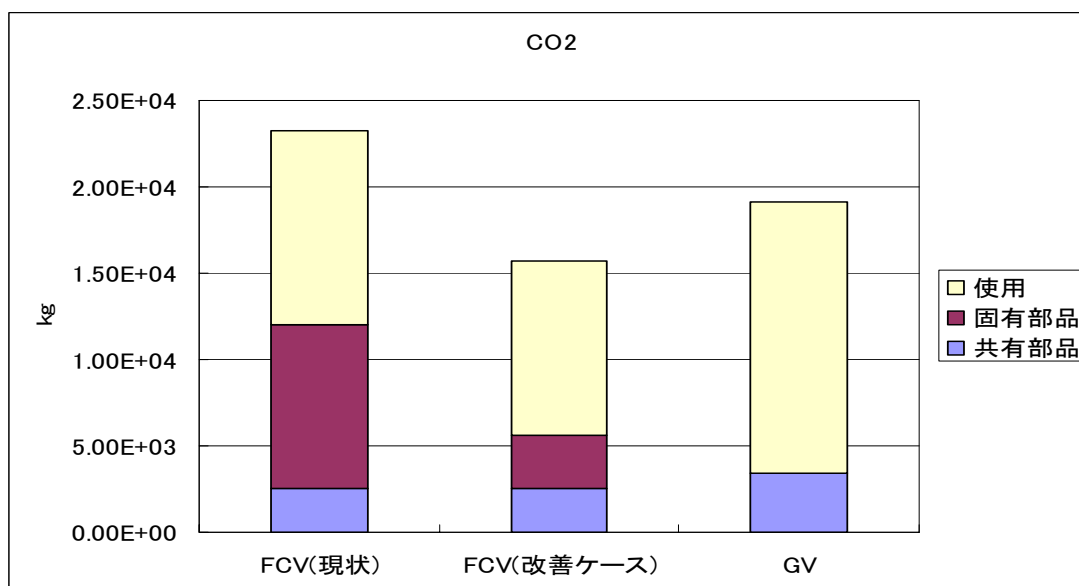


図 5.5-1 インベントリ結果を比較(CO₂)

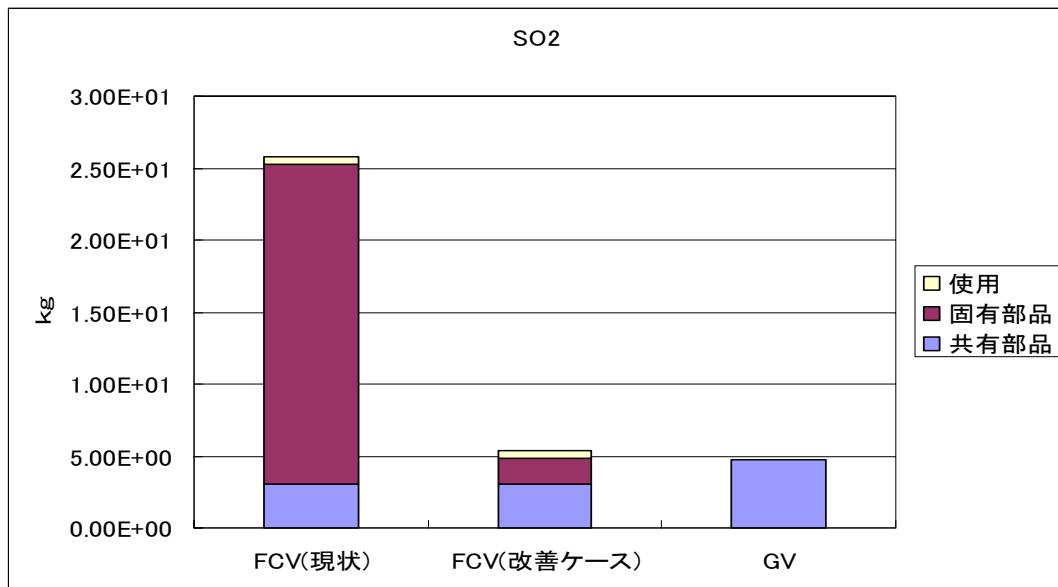


図 5.5-2 インベントリ結果を比較(SO₂)

CO₂ではFCV(改善ケース)で現状より 33%の削減。GVと比較しても 22%の削減となった。SO₂ではFCV(改善ケース)で現状より 79%の削減。GVとほぼ同等の値になった。このことから、現在の技術水準では、ガソリン車よりも大きいものの、今回想定した環境負荷削減シナリオを現実にすることで、将来的にはガソリン車よりも環境負荷を同等もしくは削減することも十分可能であることが分かった。

5.6 FCV (現状)、(改善ケース)、GV の影響評価結果の比較

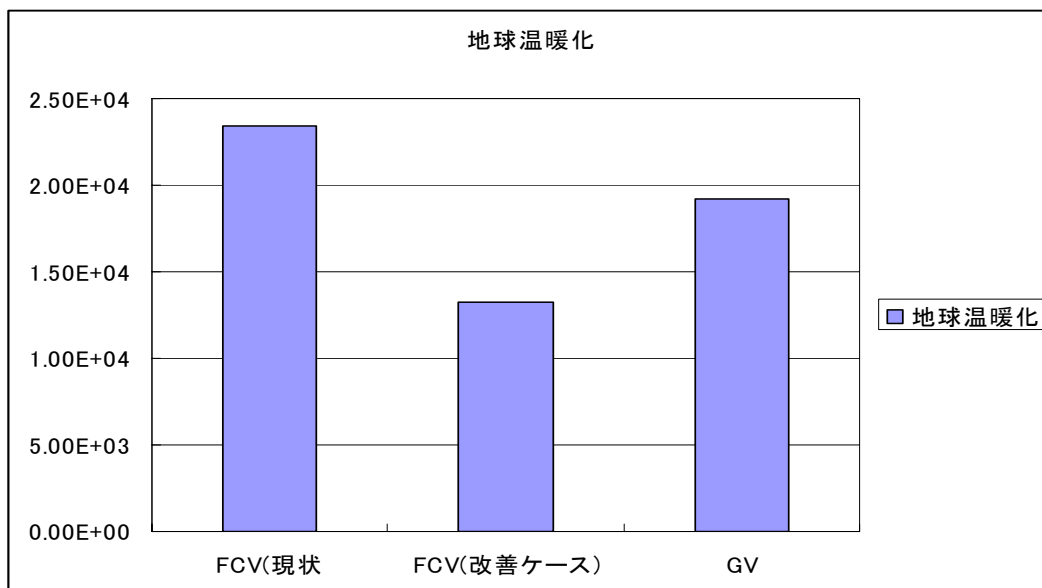


図 5.6-1 特性化結果(地球温暖化)

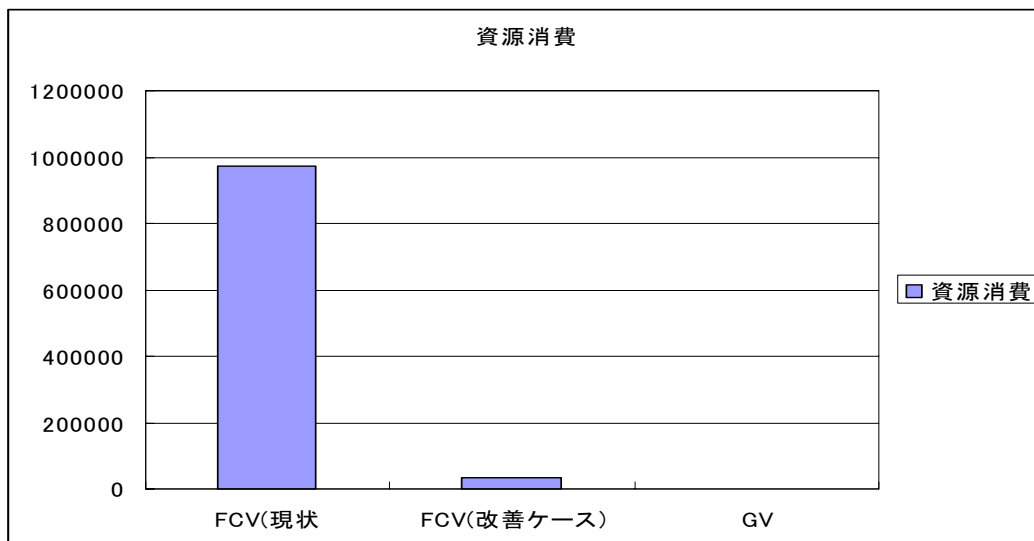


図 5.6-2 特性化結果(資源枯渇)

これを見ると地球温暖化では、FCV(現状ケース)とGVを比較すると、FCV(現状ケース)の方が悪い値になっている。しかし、FCV(改善ケース)では、GVより寄与しない値になっている。また資源消費では、GVが一番いいもののFCV現状ケースと改善ケースを比較してみるとはるかに改善ケースの方が寄与しない値になっている。このことから、白金のリサイクル効果があるということがわかる。また、この結果より、4つのシナリオの効果があるということがわかった。しかし、資源消費の面では、FCVの方が悪く、地球温暖化では、FCVの方が良い値になっている。これの比較の為に、統合化を示す。

5.7 FCV（現状）、（改善ケース）、GVの統合化結果

図 5.7-1 に燃料電池車とガソリン車を対象とした環境影響統合化結果について示した。ここでは、LIME を利用して LCIA を行ったが、LIME では白金の統合化係数が無かったため、ここでは白金の環境影響の評価では暫定的に金の統合化係数を利用することとした。

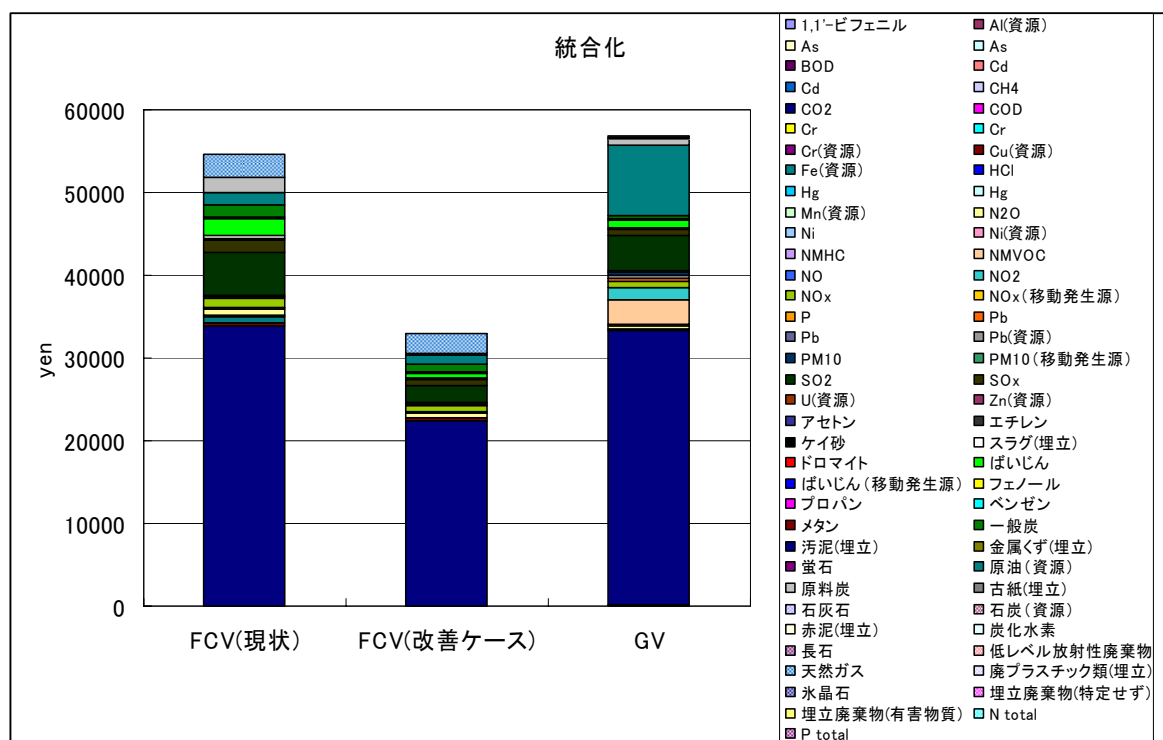


図 5.7-1 統合化結果

現状レベルの燃料電池車はガソリン車とほぼ同等である。今後の環境負荷削減技術の導入によって、燃料電池車の環境影響はガソリン車より十分小さくすることが可能であることが分かった。詳しく見ると、いずれもCO₂による影響が最大であり、資源消費による影響は小さかった。ただし、白金の統合化係数を直接利用しているわけではないので、今後LIMEでの係数開発が求められるところである。GVは2番目に原油が大きい、FCVではこの影響を大きく削減することができる。一方で、天然ガス、ばいじん、Soxの影響はFCVの方が大きいため、環境影響全体で見るとほぼ同等であるものと考えられた。

以上の結果から、FCVのライフサイクルでの負荷を減らすためにはCO₂の低減対策の導入が効果的であることがわかった、そのためには燃料製造段階での負荷の削減、改質効率の向上や都市ガス以外のより効率の良いプロセスを採用するなどの対策が必要である。また、白金の採掘から製造までの負荷の削減が必要である。そのためにもっとも重要なのは原産国のエネルギー効率の向上であることがわかった。燃料電池の普及、環境負荷の削減のためにはまだまだ技術の向上が不可欠であるが、今後の進展に伴い潜在的に高い環境影響削減効果が期待できることがこの研究で明らかになった。

第6章 結論

本研究を通じて、FCVのライフサイクルでの環境負荷は製造段階が一番大きいということがわかった。その中でも、白金製造段階の負荷が大きく白金の削減対策の導入がかなり効果的であることがわかった。今回の研究で行った改善ケースでは、資源消費は、まだ、FCVの方が悪い値になっている。しかし、リサイクルのみでも資源消費をかなり削減できることも同時にわかった。さらに、資源消費を減らすためには、白金の使用量を減らすことが重要だと思われる。全ての改善シナリオに共通して言えることは、FCVの環境負荷の削減のためには、インフラの整備や燃料電池の耐久性向上、燃料改質率の向上などの技術の向上が不可欠であるということ。また、同時に、白金の採掘場所のエネルギー効率の改善も合わせて考えることが必要である。しかし、今後の発展に伴い潜在的に高い環境影響削減効果、また石油代替エネルギーとしての効果が期待できることが本研究でわかった。

また、FCVのライフサイクルアセスメントでは、白金の負荷が大きいのかかわらず、白金の統合化の指標がないというのは問題であると思われる。これから、評価の正確性を上げていくためには、白金の統合化の指標と作るべきだと思われる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、LCA についてほとんど分からなかった私達に、研究の進め方から論文の書き方まで、熱心に、そして分かりやすく教えて下さった伊坪徳宏先生には、本当に大変お世話になりました。ここであらためて心よりお礼申し上げます。

また、ヒアリングや見学をさせていただいた、東京ガスの前田様、みずほ情報総研の皆様、工学部環境エネルギー学科の高木先生、インターンシップでお世話になった（財）日本自動車研究所の船崎様、金成様をはじめとする皆様には、本来の業務がお忙しいのにもかかわらず、私たちのために時間を割いて、親身になってご指導をしていただきました。心より御礼申し上げます。

最後に、研究室で常に私達のことを見守ってくださり、たくさんの有益なアドバイスをしてくださった伊坪研究室の先輩方、また、互いに協力し合って研究を進めてきた同級生の皆さんにも、心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1)IEA : “CO₂ EMISSIONS FROM FUEL COMBUSTION(2004edition)”, (2004)
- 2)経済産業省 JHFC プロジェクト：“水素・燃料電池実証プロジェクト「JHFC」”，入手先
<http://www.jhfc.jp/j/index.html>
- 3)独立法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構，みずほ情報総研株式会社：“燃料電池
自動車の普及に関する技術に対するライフサイクル影響評価等に関する調査”，(2005,10)
- 4)東京ガス：“なるほど！燃料電池”，入手先<<http://www.tokyo-gas.co.jp/pefc/index.html>>
- 5)NEDO：“よくわかる！技術解説－燃料電池 技術解説”，
入手先<<http://www1.infoc.nedo.go.jp/kaisetsu/evm/ev03/index.html>>
- 6)社団法人日本電気工業会：“各国における発電部門 CO₂ 排出量原単位の推計調査報告書
-Ver.3(2006.6 Revised)-”，(2006,6)