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

Title	宇宙太陽発電衛星のCO2負荷
Sub Title	
Author	吉岡, 完治(Yoshioka, Kanji) 管, 幹雄(Kan, Mikio) 野村, 浩二(Nomura, Koji) 朝倉, 啓一郎(Asakura, Keiichiro)
Publisher	慶應義塾大学産業研究所
Publication year	1998
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-2
JaLC DOI	
Abstract	概要太陽発電衛星(Solar Power Satellite;SPS)とは、地球軌道上にあって太陽電池パネルを用いて発電を行い、地上へ高周波マイクロ波で電気を送る衛星のことである。SPSは、既存の発電システムにかわる、クリーンな未来型発電システムの1つとして期待されている。しかし、その建設には膨大なエネルギーがかかり、さらにはCO2が排出されることが予想される。本稿では、建設時にかかる環境負荷を考慮してもなお、はたしてSPSは既存の発電システムよりも負荷が小さいのかを調べるため、比較分析を行った。我々はSPSに必要な各部分-宇宙用太陽電池、レクテナ、宇宙輸送機、宇宙基地や衛星-について、それに投入される財貨・サービスのデータを収集・検討し、それと環境分析用産業連関表を用いてCO2負荷波及計算を行った。その結果、リファレンスシステムで提案された規模のSPSの建設、運用によるCO2排出量は15.8億t-CO2(炭素換算では4.3億t-C)、1995年における我が国の販売電力量相当7511億kWhを全てまかなう規模であれば4.7億t-CO2(炭素換算では1.3億t-C)となることが分かった。また他の発電システムと比較したところ、SPSの電力生産1単位あたりCO2排出量は20g/kWhであり、火力発電よりも大幅に小さく、原子力発電よりも若干小さい値であることが分かった。
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=AA12113622-00000002-0001

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.

宇宙太陽発電衛星のCO_2負荷

吉　岡　　完　治
菅　　幹　雄
野　村　　浩　二
朝　倉　　啓一郎

No.G-2

学振未来 WG２－１

宇宙太陽発電衛星のCO_2負荷

吉岡完治、菅幹雄、野村浩二、朝倉啓一郎

1998年2月

キーワード

宇宙太陽発電衛星、SPS、DOE/NASAリファレンスシステム、CO_2負荷、発電形態
多結晶シリコン太陽電池、宇宙用輸送機、宇宙基地、レクテナ、産業連関分析

概要

太陽発電衛星（Solar Power Satellite ; SPS）とは、地球軌道上にあって太陽電池パネルを用いて発電を行い、地上へ高周波マイクロ波で電気を送る衛星のことである。SPSは、既存の発電システムにかわる、クリーンな未来型発電システムの1つとして期待されている。しかし、その建設には膨大なエネルギーがかかり、さらにはCO_2が排出されることが予想される。本稿では、建設時にかかる環境負荷を考慮してもなお、はたしてSPSは既存の発電システムよりも負荷が小さいのかを調べるため、比較分析を行った。我々はSPSに必要な各部分－宇宙用太陽電池、レクテナ、宇宙輸送機、宇宙基地や衛星－について、それに投入される財貨・サービスのデータを収集・検討し、それと環境分析用産業連関表を用いてCO_2負荷波及計算を行った。その結果、リファレンスシステムで提案された規模のSPSの建設、運用によるCO_2排出量は15.8億t-CO_2（炭素換算では4.3億t-C）、1995年における我が国の販売電力量相当7511億kWhを全てまかなう規模であれば4.7億t-CO_2（炭素換算では1.3億t-C）となることが分かった。また他の発電システムと比較したところ、SPSの電力生産1単位あたりCO_2排出量は20g/kWhであり、火力発電よりも大幅に小さく、原子力発電よりも若干小さい値であることが分かった。

宇宙太陽発電衛星のCO_2負荷*

吉岡完治 †、菅幹雄 ‡、野村浩二 †、朝倉啓一郎 §

1998年2月

1 はじめに

21世紀を展望する時、化石エネルギーの枯渇及びCO_2問題が要になろう。近年の地球温暖化の問題で特にCO_2負荷を低減するには、どのような技術革新が必要か、発電をどうするか、自動車をどうするか、住宅をどうするかなどいろいろと考えられてきている。しかし、それらはひょっとすると、いってみれば対症療法にすぎないかもしれない。根本的な解決はないのであろうか。

われわれの暮らし向きや産業構造の実状から見ると、産業部門別のCO_2負荷のトップはほとんどの国で電力である。例えば、比較的原発比率の高いわが国でも年間CO_2排出12億t-CO_2のうち、電力生産からの負荷は4分の1程度となっており、かつ毎年増えていく傾向にある。また、今まで試みられてきた各種のCO_2負荷低減的な工夫もLCA的にみれば、電力生産のあり方に大きく依存するのである。例えば最近大きく注目されている電気自動車の例を取ってみても、確かに運用の段階でCO_2は排出されないが、その運用エネルギーである電力をつくる過程でCO_2を多く排出する。したがって、もし石炭火力で発電し、電気自動車を走らす場合CO_2負荷は高いものとなってしまうであろう。このように考えていくと化石エネルギー依存度が低く、CO_2負荷が低く、また他の環境負荷も少ない、比較的低廉な電力生産が21世紀にはもっとも望まれるであろう。

このような観点から我々は未来型発電の1例として、太陽発電衛星(Solar Power Satellite ; SPS)のCO_2負荷計算を試みてみる。SPSを設置するにはロケットを何度も飛ばさねばならない。また、太陽電池生産のためには膨大なエネルギーがかかる。また、受電装置（レクテナ）はセメントと鉄の塊であるということからそのシステムを作り上げるには間接的にCO_2 を膨大に排出することが予想される。はたして、このシステムを立ち上げる時のCO_2負荷を運用時にペイバックできるのであろうか、そのCO_2負荷はLNG火力、原子力とどの程度差があるのであろうか、それを比較分析するのがこの研究の目的である。そのうちこの論文では今や古いシステムとなってしまったが、1978年にDOE/NASAが提案したリファレンスシステムについてのCO_2負荷計算を行う。最近NASAはパワータワー方式と称し、太陽光発電衛星の打ち上げ方式に新機軸を提案してきている。リファレンスシステムと比較するとずいぶんと改良がなされているが、それと比較するうえでも、まず基本型としてこのリファレンスシステムのCO_2負荷計算が必要と考えて行った。以下次節では、SPSの紹介と本稿での結論としてSPSのCO_2負荷についての簡潔なオーバービューをおこなう。以降、第3節では太陽電池、第4節ではレクテナ（受電アンテナ）、第5節では宇宙輸送機、そして第6節で低軌道基地、静止軌道上の建設基地、衛星の順に、それぞれの詳細について報告することにしたい。

---

*この研究は宇宙研究所 長友信人、東京大学先端研 松岡秀雄、P.コリンズ諸氏の指導と貴重なコメントによって初めて可能となった。また、厚生省 柴田徹志氏（当時東京大学大学院）、との共同研究からスタートした。その成果は柴田氏の修士論文に収録されている。水素製造プロセスについては経済企画庁 中村博喜（現安田生命）、室田弘壽（現あさひ銀行）の両氏の協力によっている。また、本稿中のSPSの概念図については、神戸大学工学部 賀谷信幸氏の御好意により引用させていただいたものである。ここで記して感謝したい。なお本論分に含まれ得るミスについては、われわれ執筆者の責任である。

† 慶應義塾大学産業研究所、‡ 東海大学教養学部、§ 慶應義塾大学産業研究所未来開拓事業（日本学術振興会特別研究員）

2 SPSの紹介とCO_2負荷のオーバービュー

2.1 SPSの紹介

では太陽発電衛星（SPS）について紹介することにしよう。地上にはりめぐらせた太陽光発電は、火力発電所のようにCO_2、NO_x、SO_xを排出しないこと、原子力発電のように放射性廃棄物が出ないことから、クリーンなエネルギーとして、その利用に注目が集まっている。ただし、太陽電池を地上に設置した場合には、晴れた日と比べて曇りや雨の日には発電量が低下する点や、夜間には発電ができないという点で、安定的な供給が難しい。もしも太陽電池を宇宙空間に打ち上げて発電を行うならば、天候や昼夜に関係なく発電ができるであろう。そこで太陽電池パネルを並べた衛星、すなわち太陽発電衛星（SPS）を静止軌道上に打ち上げて発電を行い、その電力を地球に送ることが考案された。

SPSの構想は1968年のアメリカのグレイザー（P.E.Glaser）が最初であり、1978年にはアメリカのエネルギー省（Department of Energy、略してDOE）とNASAが、通称リファレンスシステムと呼ばれるSPSを発表した（以下では、DOE/NASAリファレンスシステムと呼んでいる）。リファレンスシステム自体は現在から遡ること20年前のプランではあるが、その後、最近までリファレンスシステムよりも詳細な検討がなされたプランは発表されていなかったので、現在でも代表的なSPSのプランであるとされている。本稿では、このリファレンスシステムに基づいてCO_2負荷計算を行った。

SPSの建設に必要な各部分の名称を表1に示した。表を見ながら、SPSの建設について説明しよう。太陽発電衛星は高度36000kmの静止衛星軌道上に打ち上げられる。だが、静止軌道までは二段階に分けて輸送される。まず低軌道上にロケット（表1における1、2）で資材と人員を打ち上げる。低軌道上では基地（5）をつくり、そこで軌道間輸送機（3、4）を組み立てる。次に低軌道から静止軌道まで軌道間輸送機で資材と人員を輸送する。静止軌道上では、建設基地（6）が組み立てられる。その建設基地を用いて太陽発電衛星（7、8）が組み立てられる。太陽発電衛星で発電した電気は、高周波マイクロ波で地上へと送られる。そのため、地上では太陽発電衛星からの高周波マイクロ波を受電するためのアンテナ、すなわちレクテナ（9）が建設される。この他に宇宙輸送機（ロケット、軌道間輸送機）を推進させるための水素、酸素、アルゴン、メタンなど推進燃料（10）が必要である。

表 1: SPSの建設に必要な各部分の名称

宇宙輸送機	
1.	大量打ち上げロケット (HEAVY LIFT LAUNCH VEHICLE)
2.	人員打ち上げロケット (PERSONNEL LAUNCH VEHICLE)
3.	軌道間貨物輸送機 (CARGO ORBITRAL TRANSFER VEHICLE)
4.	軌道間人員輸送機 (PERSONNEL ORBITRAL TRANSFER VEHICLE)
宇宙基地	
5.	低軌道基地 (LOW EARTH ORBIT STAGING)
6.	静止軌道上の建設基地 (FACILITY TO CONSTRUCT SATELLITES IN GEOSYNVHRONOUS EARTH ORBIT)
太陽発電衛星	
7.	衛星 (SATELLITE)
8.	宇宙用太陽電池 (SOLAR CELL)
その他	
9.	レクテナ (RECTENNA)
10.	宇宙輸送機の推進燃料 (PROPELLANT FOR FRIGHT)

図1には、SPSの概念図を示した。図の上半分にあるのが太陽発電衛星である。長方形のかたちをしており、その大きさは5km×10kmである。太陽発電衛星で発電した電力は高周波マイクロ波のかたちで地上へと送られる。太陽発電衛星の一番手前にある部分が、電力を高周波マイクロ波に変換し、地上へ送る部

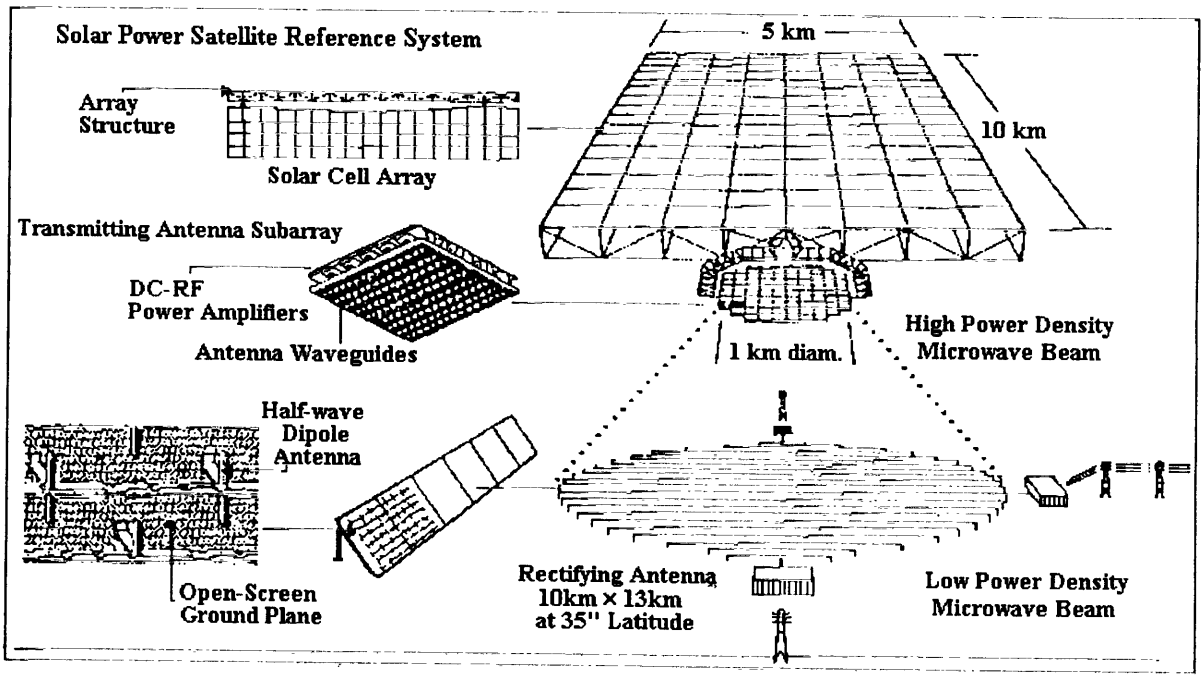

図 1: SPS の概念図

分である。図の下半分にあるのがレクテナであり、遠くからみると円形をしており、その大きさは10km × 13km である。リファレンスシステムでは1基の太陽発電衛星の大きさを5GW クラスとし、これを60基打ちうあげて発電を行うプランであった。この60基の衛星が全部完成したときの、SPS の1年あたり発電量は26280（億kWh）である。1995年時点の我が国の1年間の販売電力量は7511億kWh であるから、その約3.5倍にあたる大きさである。したがって、我が国の電力を全てまかなうのであれば、18基の5GW 太陽発電衛星があれば十分である。

2.2 CO_2負荷の計算方法

本稿のCO_2負荷の計算方法について説明する。以下の計算は産業連関分析を応用したものである。産業連関分析（Input Output Analysis）はレオンティエフ（W.Leontief）によって考案された分析であり、行列形式に整理された産業連関表（Input-Output Table）とよばれる統計に基づいて分析を行う。この産業連関表は5年おきに総務庁を中心とする11省庁の共同作業で作成されており、1998年現在では1990年の産業連関表が最新のものである。産業連関表をタテ方向にみていくと各経済部門の費用構成、すなわち中間投入（原材料、エネルギーへの支払い）、粗付加価値（雇用者所得、営業余剰等）が示されている。一方、ヨコ方向にみていくと各財貨・サービスの販路構成、すなわちどれだけが他の財貨・サービスの生産に需要された（中間需要）のか、あるいはどれだけが最終需要（消費支出、固定資本形成、輸出など）されたのかが示されている。産業連関表を分析に用いるためには中間投入部門数と中間需要部門数が一致するように集計作業を行う。集計された部門分類で最大のものは1990年産業連関表で405部門である。その405部門の生産活動のうち、第j番目の部門について考えよう。第j番目の部門は、生産を行うために、さまざまな財貨・サービスを投入している。製品の原材料や部品、機械設備を動かすための電力、ボイラー

を動かすための重油などを投入している。このように生産活動を行うために投入されたものを中間投入とよぶ。中間投入される財貨・サービスの種類は、生産活動の数と同じ405部門あるとする。すなわち1つの生産活動が、1種類の財貨・サービスを生産しているとする。第j部門の生産活動に投入された第i部門の財貨・サービスの中間投入額をX_{ij}とする。第j部門の国内生産額をx_jとすれば、中間投入額X_{ij}と国内生産額x_jから固定投入係数a_{ij}が次のように定義される。

$$a_{ij} = \frac{X_{ij}}{x_j} \qquad (i, j = 1, 2, \cdots, n : n\text{は405部門})$$

a_{ij}を要素とする行列を$\mathbf{A}$で表し、中間投入係数行列とよぶ。

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

SPSの建設に必要な部分の一覧を表1に示したが、その第k番目の部分の製造に投入される第i部門の財貨・サービスをf_i^kとする。例えば$k = 1$のときは、大量打上げロケットの製造に投入される財貨・サービスを扱う。f_i^kを要素とする列ベクトルを$\mathbf{f}^k$とする。

$$\mathbf{f}^k = \begin{pmatrix} f_1^k \\ \vdots \\ f_n^k \end{pmatrix}$$

この$\mathbf{f}^k$を生産するためにもさまざまな財貨・サービスが投入される。

$$\mathbf{x}^{k,1} = \mathbf{A}\mathbf{f}^k$$

$\mathbf{x}^{k,1}$を間接1次効果とよび、一方$\mathbf{f}^k$を直接効果とよぶ。次に、$\mathbf{x}^{k,1}$を生産するためにもさまざまな財貨・サービスが投入される。

$$\mathbf{x}^{k,2} = \mathbf{A}\mathbf{x}^{k,1} = \mathbf{A}^2\mathbf{f}^k$$

$\mathbf{x}^{k,2}$を間接2次効果とよぶ。次に、$\mathbf{x}^{k,2}$を生産するためにもさまざまな財貨・サービスが投入される。

$$\mathbf{x}^{k,3} = \mathbf{A}\mathbf{x}^{k,2} = \mathbf{A}^3\mathbf{f}^k$$

$\mathbf{x}^{k,3}$を間接3次効果とよぶ。これを繰り返していき、累積していくと次のようになる。

$$\begin{aligned} &\mathbf{f}^k + \mathbf{x}^{k,1} + \mathbf{x}^{k,2} + \mathbf{x}^{k,3} + \cdots \\ &= \mathbf{f}^k + \mathbf{A}\mathbf{f}^k + \mathbf{A}^2\mathbf{f}^k + \mathbf{A}^3\mathbf{f}^k + \cdots \\ &= \left(\mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \mathbf{A}^3 + \cdots\right)\mathbf{f}^k \end{aligned}$$

この累積値は間接9次効果までには大体の場合は収束する。次に第j部門の国内生産額1単位あたりCO_2排出量をC_jとする。そしてC_jを対角要素とする対角行列を$\mathbf{C}$とする。

$$\begin{aligned} &\mathbf{C}\mathbf{f}^k + \mathbf{C}\mathbf{x}^{k,1} + \mathbf{C}\mathbf{x}^{k,2} + \mathbf{C}\mathbf{x}^{k,3} + \cdots \\ &= \mathbf{C}\mathbf{f}^k + \mathbf{C}\mathbf{A}\mathbf{f}^k + \mathbf{C}\mathbf{A}^2\mathbf{f}^k + \mathbf{C}\mathbf{A}^3\mathbf{f}^k + \cdots \\ &= \mathbf{C}\left(\mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \mathbf{A}^3 + \cdots\right)\mathbf{f}^k \end{aligned}$$

生産額の場合と同様に、$\mathbf{C}\mathbf{f}^k$を直接効果、$\mathbf{C}\mathbf{x}^{k,1}$を間接1次効果、$\mathbf{C}\mathbf{x}^{k,2}$間接2次効果、$\mathbf{C}\mathbf{x}^{k,3}$を間接3次効果とよぶ。同様の計算を各部分について行い、それらの計算結果を総合してSPSのCO_2負荷を求めた。

2.3 CO_2負荷のオーバー・ビュー

SPSの建設、運用からどのくらいのCO_2が排出されるのか、総合効果の計算結果について説明しよう。ここで主要な計算結果について述べることにしよう。まず、DOE/NASAリファレンスシステムで提案された規模のSPSの建設、運用によるCO_2排出量は15.8億t-CO_2であるという結果になった（表2)。我が国の1年間のCO_2総排出量は12億t-CO_2（1990年）であるから、我が国の総排出量を25%程上回る程度の排出がされることになる。また相対的に一番排出が大きいのは、太陽電池の製造であり、全体の約6割を占めている。その次に大きいのはレクテナの資材製造、建設である。メンテナンスからのCO_2排出については太陽発電衛星、レクテナの補填率を年1%とするむきもある。しかし、この値は根拠が定かではないので採用しなかった。もし、年1%とするならば、計算結果を3割増しにするのが順当であろう。

表 2: リファレンスシステムで提案された規模のSPSによるCO_2排出量
－太陽発電衛星60基　（単位:万t-CO_2）

宇宙輸送機		
1	大量打ち上げロケットの製造	412
2	人員打ち上げロケットの製造	12
3	軌道間貨物輸送機の製造	9576
4	軌道間人員輸送機の製造	4
宇宙基地		
5	低軌道基地の資材製造	5
6	静止軌道上の建設基地の資材製造	19
太陽発電衛星		
7	衛星の製造	1424
8	宇宙用太陽電池の製造	90393
その他		
9	レクテナの資材製造、建設	38688
10	宇宙輸送機の推進燃料の製造、燃焼	17473
	計	158007

表 3: SPSの1年あたり発電量の推計値および推計上の想定
（リファレンスシステムで提案された規模の場合）

発電衛星1基あたり発電量	5	GW／基
発電衛星の数	60	基
1日あたり発電時間数	24	時間
1年あたり発電日数	365	日
1年あたり発電量	2628000	GWh／年

また表3では、SPSの1年あたり発電量の推計値および推計上の想定を示している。SPSの1年あたり発電量は26280億kWhである。1995年時点の我が国の1年間の販売電力量は7511億kWhであるから、その約3.5倍にあたる[1]。よって我が国の電力供給を全てまかなうのであれば、太陽発電衛星の数は18基で十分であることになる。このときレクテナの数も比例的に少なくて済むと仮定した。ただし、低軌道基地、静止軌道上の建設基地は半数（2基→1基）必要であるとした。低軌道基地、静止軌道上の建設基地以外のCO_2排出を18/60倍して、我が国の電力供給を全てまかなう規模であるとした。その結果を示したものが

[1]我が国では現在、需要の振れに対応して180GWの発電キャパシティを保有している。しかし需要の振れを無視して需要電力量ベースで計算した。原子力発電、石油火力発電等のCO_2負荷計算[17]の計算方法と共通にするためである。したがって表5では他の発電方式と比較可能になっている。

表4であり、CO_2排出量は4.7億t-CO_2となった。次にSPSの耐用年数を30年とすれば、1年あたりのCO_2排出量は5267（万t／年）である。したがってSPSの発電1kWhあたりCO_2排出量は次のようになる。

$$5267\text{（万t／年）} \div 26280\text{（億kWh／年）} \times 100 = 20\text{（g／kWh）}$$

表 4: 我が国の電力供給を全てをまかなう規模のSPSによるCO_2排出量
－太陽発電衛星18基　（単位:万t-CO_2）

宇宙輸送機		
1	大量打ち上げロケットの製造	124
2	人員打ち上げロケットの製造	4
3	軌道間貨物輸送機の製造	2873
4	軌道間人員輸送機の製造	1
宇宙基地		
5	低軌道基地の資材製造	3
6	静止軌道上の建設基地の資材製造	9
太陽発電衛星		
7	衛星の製造	427
8	宇宙用太陽電池の製造	27118
その他		
9	レクテナの資材製造、建設	11606
10	宇宙輸送機の推進燃料の製造、燃焼	5242
	計	47407

表5は電力生産1単位あたりCO_2排出量の比較を示している。火力・原子力発電の電力生産1単位あたりCO_2排出量は吉岡完治、内山洋司、菅幹雄、本藤祐樹の共同研究の結果を参照した。その詳細は慶應義塾大学産業研究所環境問題分析グループ[17]の第5章「電力生産によるCO_2排出」を参照されたい。表5の値はSPSの耐用年数を30年と想定して計算を行っている。表5をみると、SPSの電力生産1単位あたりCO_2排出量は20g/kWhであり、原子力発電よりも若干小さい値である。表5について捕捉説明をすると、経常運転時の項目は発電所の稼動を行ったときの1年あたり排出を示し、建設時の項目は発電所の建設に伴なう排出を耐用年数で割った値を示している。火力発電の経常運転時の排出は主に発電所内における化石燃料の燃焼によるものであり、原子力発電の経常運転時の排出は主に核燃料の生産に投入されたエネルギーから排出されたものである。SPSの電力生産1単位あたりCO_2排出量の値には、電力事業者の送配電を含む経常費用からのCO_2排出が含まれておらず、火力・原子力の値にはそれが含まれている。それはSPSについて送配電などの経常費用について現存のデータがないからである。したがって、表5の数字の扱いには注意を要する。

表 5: 電力生産1単位あたりCO_2排出量の比較
(g-CO_2/kWh)

発電方式	経常運転時	建設時	合計
SPS	0	20	20
石炭火力発電	1222	3	1225
石油火力発電	844	2	846
LNG火力発電	629	2	631
原子力発電	19	3	22

3　宇宙用太陽電池

ここではDOE/NASAリファレンスシステムで想定されている太陽電池出力規模を満たすべく必要な太陽電池製造コストを推計し、1990年時点における日本経済の産業構造のもとでその太陽電池製造のために直接間接に必要な財・サービスの波及を追うことによって、各財・サービス製造部門におけるCO_2発生量を推計する。現在太陽電池は、結晶系シリコン太陽電池として、単結晶シリコン太陽電池および多結晶シリコン太陽電池、また非晶質系としてはアモルファスシリコン太陽電池、あるいは化合物系として化合物半導体太陽電池などが実用化されている。特に宇宙用太陽電池としては、各種太陽電池の相対的な特性の相違、およびコスト面での評価などから現状としては特に確定的なものはなく、それぞれの可能性が検討されている段階である[2]。

それぞれの特性をみると、単結晶シリコン太陽電池は、搭載実績もあり実用段階で16-18%と高い変換効率を持つが、現状ではコスト面で問題を抱えている。多結晶シリコン太陽電池は、単結晶に比べて低い変換効率（11-13%）ではあるものの、低コストで生産できるなどの利点を持っている。アモルファスシリコン太陽電池は、また結晶系に比較して変換効率は8%程度とまだ低いものの相対的に安価であり、その製造プロセスにおける特性からスケールメリットが期待できる。相対的にモジュールが軽量であることから、特にフレキシブルアモルファスシリコン太陽電池が考案され、宇宙用としては軽量化、高梱包密度が期待されている。一方、3-5族化合物（GaAs等）の化合物半導体太陽電池は20%程の高い変換効率を持つが、コスト面や資源的制約における問題点を持つ。

DOE/NASAリファレンスシステムでは、SPSに搭載する太陽電池として単結晶シリコン太陽電池（変換効率17.3%を想定）とGaAs太陽電池（変換効率20%を想定）が扱われているが、ここでは多結晶シリコン太陽電池を想定することにする。多結晶シリコン太陽電池は、アモルファスシリコン太陽電池と並び我が国でも生産実績があり、近年大きく生産量の拡大が見込まれている太陽電池である。

3.1　多結晶シリコン太陽電池の製造コスト

多結晶シリコン太陽電池（poly-Si）の製造規模としては、ここでは年産10MWを想定している。しかし、その生産工程における素原材料投入構造は、ここで想定している製造規模のものについては現在確定的なものではなく[3]、将来期待される製造プロセスにおけるスケールメリットと変換効率上昇の両者を含んだものであると解釈すべきである。ただし最近では我が国でも相次ぎ太陽電池の増産が計画されており、近い将来にここで想定した規模での生産が為されると考えられている。では多結晶シリコン太陽電池について、コスト構造を推計することにしよう。

多結晶シリコン太陽電池（poly-Si）の製造は、単結晶シリコン太陽電池と比較してシリコン製造プロセスにおいて不純物濃度をある程度認めることで低コスト化を実現したものである。その生産工程はおおきく4つの段階として1. ウェハ工程、2. セル化、3. モジュール化に分割され、各生産工程における素原材料投入量、およびそれらの価格からコストを推計することになる。資料としては、内山[14]によって各生産工程における素原材料投入量を得ている。価格については後に『1990年産業連関表』を用いて分析することから1990年価格評価することが必要であり、また各財の相対価格体系を産業連関表でのそれと整合的に

[2]高倉[22]では宇宙用太陽電池の課題として、次のような点をあげている。第1に放射線による太陽電池の劣化に対する耐放射線性の必要性である。第2に真空状態による影響として、たとえば地表とは異なり大気の対流が無いことによって100度まで温度上昇が起こりうる等の点を指摘している。そして第3に輸送費が高額にのぼることから、高い変換効率の要請はもちろんのこと、軽量かつ高い梱包密度が可能であることを要求している。

以上のような宇宙空間における太陽電池のパフォーマンスに求められる多様な条件を考慮し、鈴木他[19]では現段階では単結晶Siが依然としてその中心的地位を占めるであろうと予測しており、またSPS2000ではフレキシブルアモルファスシリコンが有力とみられている（後川[12]、[13]、高倉[22]）。

[3]実際、我が国の太陽電池生産量は、資料によって多少の差があるものの1991年において資料[8]では合計で年間19.8MW（うちa-Siが56%）、浜川・桑野[28]では年間16.9MW（うちa-Siは47%）といずれもここで想定する規模と比較して小さな生産規模でしかない（そのうち多結晶太陽電池は40%強を占める）。よって現状としては、太陽電池製造についての素原材料投入構造を確定はできないことから、想定を含んだものであることに留意されたい。

すること、後におこなうCO_2排出量の推計においても産業連関表で観察される物量を基準としていることから、可能な限り産業連関表で実際に観察される単価によって評価するようにしている。

では、はじめに第1のプロセスとして、多結晶シリコンのウェハ製造についてのコスト構成を推計することにしよう。そのプロセスは、シリコンの原料であるシリカ（SiO_2）を精製したものをカーボンペレットによって還元し、精製したインゴットをスライスしてウェハを生産するものである。そのコスト構造については表6のようになっている。

表 6: シリコンウェハ製造コスト

価額単位:1000円(生産者価格)

工程　投入	投入量	単位	単価	単位	価額	IO分類	左記名称
1.1 高純度シリカの製造							
1.1.1 原料							
ガラス用珪砂(SiO2)	462.0	t	4123.4	円／t	1905	0621099	他窯業原料鉱物
1.1.2 水ガラス化							
炭酸ナトリウム(Na2CO3)	272.0	t	45000.0	円／t	12240	2029099	他無機化学工業製品
原油	172.8	kl	16731.0	円／kl	2891	0721011	原油
1.1.3 析出·精製							
鉱酸	1051.1	t	10769.0	円／t	11319	2029011	硫酸
石灰石	959.7	t	737.0	円／t	707	0621011	石灰石
電力	525.6	MWh	19.6	円／kwh	10279	5111001	事業用電力
上水	22987.1	kl	50.0	円／t	1149	5211021	工業用水道
1.2 カーボンペレット製造							
アセチレンブラック	161.0	t	183.7	千円／t	29588	2032019	他脂肪族中間物
レゾール	97.0	t	181.0	千円／t	17557	2032029	他環式中間物
電力	4028.0	MWh	19.6	円／kwh	78783	5111001	事業用電力
塩素(Cl2)	36.6	t	40601.0	円／t	1486	2021019	他ソーダ工業製品
水酸化ナトリウム(NaOH)	22.0	t	53181.0	円／t	1168	2021012	か性ソーダ
1.3 太陽電池用シリコン製造							
1.3.1 シリカ還元							
アルゴン(Ar)	16.4	千m^3	135.0	円／m^3	2211	2029031	圧縮ガス·液化ガス
黒鉛ノズル	1.8	t	1483.5	千円／t	2700	2599031	炭素·黒鉛製品
黒鉛電極	9.1	t	347.3	千円／t	3161	2599031	炭素·黒鉛製品
電力	2548.0	MWh	19.6	円／kwh	49836	5111001	事業用電力
1.3.2 ろ過脱炭·酸化脱炭							
電力	309.4	MWh	19.6	円／kwh	6051	5111001	事業用電力
1.3.3 一方向凝固							
煉瓦	4830.0	kg	270.7	千円／t	1307	2599011	耐火物
電力	528.0	MWh	19.6	円／kwh	10327	5111001	事業用電力
1.4 多結晶シリコンの基板化							
シリコンカーバイト砥粒(SiC)	231.0	t	900.0	千円／t	207900	2599041	研磨材
切断用ピアノ線	37.0	t	2000.0	千円／t	74000	2899092	金属線製品
電力	3305.4	MWh	19.6	円／kwh	64650	5111001	事業用電力
電力合計	11244.4	MWh	19.6	円／kwh	219926		
金額合計					591216		

第2のセル（素子）化におけるプロセスは、ウェハの基盤表面洗浄、拡散接合形成、保護膜形成、裏面エッチング、裏面電極形成、受光面電極形成およびセルの特性検査のプロセスからなる。その素原材料投入におけるコスト構成は表7のようになっている。最後に第3のモジュール化のプロセスについてコスト構造を推計することにする。先に推計したセルという太陽電池の最小単位を複数個繋ぎあわせて、一つのパッケージとしたものをモジュールと呼んでいる。そのコスト構造は表8のようになっている。

以上、10MWの多結晶シリコン太陽電池製造コストについて大きく3つのプロセスに分割して推計をおこなったが、原材料・エネルギー投入合計の総コストでは16.4億円となり、そのうち50.1%がモジュール化に充当し、36.1%がウェハ製造に要している。特に電力需要の面から見ると、総需要1.425×10^8kWh（金額ベースでは2.8億円）のうち78.9%（2.2億円）をウェハー製造に投入する構造となっている。単結晶シリコン太陽電池ではこの生産プロセスと比較してウェハ製造により高いコストを払うことになるが、多結

晶シリコンウェハの製造であってもシリカ還元、カーボンペレット製造などに多額の電力投入を必要としている。

表 7: セル化コスト

価額単位:1000円(生産者価格)

工程　投入	投入量	単位	単価	単位	価額	IO分類	左記名称
2.1 基盤表面化処理（テクスチャエッチングと洗浄）							
水酸化カリウム(KOH)	11.0	t	133.5	千円／t	1469	2029099	他無機化学工業製品
イソプロピルアルコール(IPA)	27.0	t	121.1	千円／t	3270	2032011	合成アルコール類
DI水	3666.7	t	1.0	千円／t	3667	5211011	上水道·簡易水道
テフロン治具	0.38	kg	47.4	千円／t	18200	2211014	工業用プラスチック製品
電力	86.5	MWh	19.6	円／kwh	1692	5111001	事業用電力
2.2 拡散接合形成（リン拡散）							
POCl3	0.59	t	28000.0	千円／t	16400	2029099	他無機化学工業製品
N2／O2	1.18	t	16.8	千円／t	20	2029031	圧縮ガス·液化ガス
石英管	0.25	g	44117.67	千円／g	11000	2519099	他ガラス製品
石英ホルダ	0.05	g	15553.98	万円／g	7300	2519099	他ガラス製品
DI水	3666.7	t	1.0	千円／t	3667	5211011	上水道·簡易水道
テフロン治具	0.38	kg	47.4	千円／t	18200	2211014	工業用プラスチック製品
電力	1037.8	MWh	19.6	円／kwh	20299	5111001	事業用電力
2.3 保護膜形成（TiO2CVD）							
ＴＰＴ	0.7	t	6280.0	千円／t	4600	2029099	他無機化学工業製品
電力	363.0	MWh	19.6	円／kwh	7099	5111001	事業用電力
2.4 裏面エッチング							
水酸化カリウム(KOH)	11.0	t	133.5	千円／t	1469	2029099	他無機化学工業製品
イソプロピルアルコール(IPA)	27.0	t	121.1	千円／t	3270	2032011	合成アルコール類
DI水	3666.7	t	1.0	千円／t	3667	5211011	上水道·簡易水道
テフロン治具	0.38	kg	47.4	千円／t	18200	2211014	工業用プラスチック製品
電力	86.5	MWh	19.6	円／kwh	1692	5111001	事業用電力
2.5 裏面電極形成							
スクリーン	0.0073	個	1952.1	万円／個	14250	2722021	アルミ圧延製品
Ag-Alペースト	1.28	t	7000.0	千円／t	8983	2711041	アルミニウム
N2／O2	200.0	t	16.8	千円／t	3360	2029031	圧縮ガス·液化ガス
電力	604.1	MWh	19.6	円／kwh	11815	5111001	事業用電力
2.6 受光面電極形成							
スクリーン	0.0073	個	1952.1	万円／個	14250	2722021	アルミ圧延製品
Ag-Alペースト	0.66	t	7000.0	千円／t	4620	2711041	アルミニウム
N2／O2	400.0	t	16.8	千円／t	6720	2029031	圧縮ガス·液化ガス
電力	604.1	MWh	19.6	円／kwh	11815	5111001	事業用電力
2.7 セル特性検査							
キセノン(Xe)ランプ	0.000	個	58219.2	万円／個	3400	3421031	電球類
ケース					400	2899091	他金属製品
電力	31.4	MWh	19.6	円／kwh	615	5111001	事業用電力
電力合計	2813.4	MWh	19.6	円／kwh	55027		
金額合計					225407		

またコストの構造としては、原材料、燃料など中間投入分についてのみではなく、労働および資本といった本源的生産要素の投入についても考慮する必要がある。まず、雇用者所得については、産業連関表における半導体素子・集積回路製造における労働分配率を想定し、15.7%として推計している[4]。太陽電池製造のために用いる資本財については、同様に内山[14]によって推計した。ただし製造設備の素原材料のみが記述されているものについては、産業連関表における対応する設備のコスト構成を用いてその投入する素材から設備額を推計している。また各種製造設備については耐用年数10年、建設物は耐用年数40年とし、金利を5%のもとで定率法での償却パターンを仮定して1年当りの費用に換算している。

推計されたモジュールコストは表9のようになっている。ここではSPSを想定しているため地上設置に必要な架台、インバーター、およびそれらの工事費については含まれておらず、SPSの太陽発電衛星にお

[4]加藤[16]での労働分配率を計算すると、多結晶シリコン太陽電池はモジュールコストの18.2%、またアモルファスシリコン太陽電池は21.1%となり、ここでの想定値よりも若干大きい値と想定されている。

表 8: モジュール化コスト

価額単位:1000円(生産者価格)

投入	投入量	単位	単価	単位	価額	IO分類	左記名称
板ガラス	84.5	千m^2	6858.8	円／m^2	579568	2511012	安全ガラス・複層ガラス
アルミ枠	154.0	t	630.0	千円／t	97020	2722021	アルミ圧延製品
配線材料(銅)	7.7	t	689.9	千円／t	5326	2721011	銅電線
充填材(EVA)	92.2	t	1000.0	千円／t	92200	2211014	工業用プラスチック製品
テドラ(PVF)	12.7	t	1000.0	千円／t	12700	2211014	工業用プラスチック製品
アルミシート	6.6	t	1019.9	千円／t	6731	2722021	アルミ圧延製品
裏面シール(モジュール化)	19.3	t	748.0	千円／t	14436	2211014	工業用プラスチック製品
周辺シール(ブルチゴム)	9.3	t	1000.0	千円／t	9300	2033011	合成ゴム
電力	188.2	MWh	19.6	円／kwh	3681	5111001	事業用電力
金額合計					820963		

表 9: 多結晶シリコン太陽電池のモジュールコスト

太陽電池における想定	
年産規模	10MW
変換効率	0.15
1Wあたりのモジュールコスト(yen/W)	
原材料・燃料	163.76
商業・輸送費	25.64
労働コスト	36.75
資本コスト	7.92
総額	234.07

けるマイクロ波送電設備、構造体等は別に扱っていることに留意されたい。表でのコスト総額は、先に述べた原材料投入額（生産者価格)、雇用者所得、製造設備・建設費に加えて、各種原材料の輸送・商業マージンとして産業連関表より財別に推計した購入者価格によって評価したものである。

コスト総額をみると、10MW規模の多結晶シリコン太陽電池では、234円/Wという結果となった。比較のために幾つかの計測例をみると、加藤[16]では344円/Wとわれわれの推計値に比較して高い値になっている。その原因は、ここでの推計値に比べて一般に単価が高いこと、製造設備の額が大きいこと（付帯設備を考慮して主要設備コストの3倍を設備コストとしている）ことによると考えられる。

3.2 SPS規模の太陽電池製造によるCO_2負荷

DOE/NASAリファレンスシステムの想定に従って、その太陽電池出力規模（SPS1基当たり静止軌道上で12.42GW、地上においてレクテナで受電するときには5GW）を満たす太陽電池数量は太陽光入射エネルギーを1.37kW/m^2（solar constant）として計算すると、SPS1基あたり先の10MWの太陽電池を約907セット必要とする。リファレンスシステムではSPS60基を想定しているから（全体として年間2.628 × 10^{12}kWhの発電量)、約54429セットということになる。

その推計結果の総括表が表10であり、そのうち原材料・エネルギー投入について詳細な波及を追ったものが表11、資本財投入コスト（1年あたりに換算）についての波及結果が表12である。表10にわかるように、SPSに必要な太陽電池総額（モジュールコスト）は127.4兆円であり、我が国における1年間の民間総固定資本形成と同等規模もの巨額なものとなっている。それらの生産によって直接間接に誘発される粗付加価値は、第2次産業部門が最大で74.7兆円、第3次産業が46.7兆円と、58.6%の付加価値は第2次産業部門、特にモジュール化における受光面材料であるガラス製造部門が最大の誘発効果を受ける。CO_2排出量としては、素原材料及びエネルギー投入によって8.90億t-CO_2の排出となり（なお多結晶シリコンの製造

表 10: SPS用太陽電池のモジュールコストとCO_2排出量

モジュールコスト	(10億円)
素原材料	89132
商業・輸送費	13955
資本コスト	4312
労働コスト	20002
合計	127402
誘発粗付加価値	(10億円)
第一次産業	6049
第二次産業	74700
第三次産業	46652
CO_2排出量	(M.t-CO_2)
素原材料[1]	890.4
資本投入	13.6
合計	903.9

[1] シリカ還元からのCO_2排出を含む

においては、シリカ還元によってCO_2が発生する部分があり、その発生分は加算されている)、資本財製造による排出を加算すると合計で9.04億t-CO_2となる。また部門別CO_2排出量としては、表11によってその波及過程をみると、金額ベースとは異なりCO_2排出量では直接・間接波及ともに電力部門が最大の排出部門であり、自家発電を含むと全体の59.4%を占めている。また直接効果と第一次波及効果としてはガラス製品より、また間接波及によっては自動車貨物輸送（自家輸送含む)、石炭製品、石油製品よりのCO_2負荷が大きな値を占めていることがわかる。

以上の推計結果によると多結晶シリコン太陽電池を想定した場合、特にシリコンウェハー製造における電力需要、及びモジュール化におけるガラス製造が金額ベースでも、CO_2ベースでも大きなウェイトを占めている。単結晶シリコン太陽電池では変換効率が高いことからSPS規模ではより少ない生産数量となるが、以上のようなコスト構成における特質は依然として保たれると考えられる。一方、多結晶シリコン太陽電池と等しく生産実績を持つアモルファスシリコン太陽電池を想定するならば、アモルファスシリコンを形成するガラス基盤をそのまま受光面の保護板として用いることができることからカバーガラスが不要であることや、結晶系シリコンではシリコン製造の際1000-1500°Cを必要とするのに対して、アモルファスでは約300°Cのみであることから電力投入が少ないこと等のコスト上、またCO_2負荷といった面からの利点が予想されうる。また将来の変換効率の上昇の可能性や、製造工程が相対的に簡潔であり、ガス反応ゆえに量産化に適していることから製造規模拡大の効果、あるいは宇宙用太陽電池としては高い梱包密度による輸送コストの削減等が期待でき、その検討が次の課題である。

表 11: SPS1基あたり太陽電池製造からのCO_2排出量－原材料・エネルギー投入－

(単位：1000t-CO_2)

直接効果		間接1次効果		間接2次効果		間接3次効果		間接4次効果	
事業用発電	5776.8	事業用発電	883.4	事業用発電	432.3	事業用発電	219.9	事業用発電	109.3
板・安全ガラス	1360.1	自家発電	363.8	自家発電	267.1	自家発電	139.5	自家発電	71.9
他無機化学工業製品	172.9	板・安全ガラス	227.1	石炭製品	103.4	石炭製品	48.4	銑鉄	40.6
道路貨物輸送	169.0	他窯業・土石製品	161.4	石油製品	59.4	石油製品	37.1	石炭製品	32.8
研磨材	163.0	石炭製品	157.1	自家貨物輸送	48.5	自家貨物輸送	31.2	石油製品	21.5
脂肪族中間物	85.1	アルミニウム	153.1	石油化学基礎製品	48.4	石油化学基礎製品	27.7	自家貨物輸送	14.3
他ガラス製品	59.9	ソーダ工業製品	117.2	ソーダ工業製品	43.5	自家旅客輸送	15.1	石油化学基礎製品	13.9
沿海・内水面輸送	55.9	石油製品	101.9	アルミニウム	38.8	ソーダ工業製品	14.7	洋紙・和紙	9.0
アルミ圧延製品	54.1	熱可塑性樹脂	63.2	板・安全ガラス	38.5	洋紙・和紙	14.3	自家旅客輸送	8.2
環式中間物	45.6	道路貨物輸送	53.1	他窯業・土石製品	26.4	脂肪族中間物	14.3	脂肪族中間物	7.0
合成ゴム	34.0	自家旅客輸送	47.9	脂肪族中間物	25.1	セメント	14.2	石油化学系芳香族製品	6.2
プラスチック製品	32.6	石油化学基礎製品	47.5	自家旅客輸送	25.0	石油化学系芳香族製品	11.5	セメント	6.1
アルミニウム	28.2	自家貨物輸送	44.0	道路貨物輸送	24.6	道路貨物輸送	11.5	道路貨物輸送	6.0
ソーダ工業製品	18.5	沿海・内水面輸送	40.0	環式中間物	23.0	銑鉄	10.8	ソーダ工業製品	5.6
卸売	18.5	他無機化学工業製品	25.6	他非鉄金属地金	19.9	沿海・内水面輸送	9.8	沿海・内水面輸送	5.1
他金属製品	17.1	脂肪族中間物	25.5	沿海・内水面輸送	19.3	環式中間物	9.7	フェロアロイ	4.5
炭素・黒鉛製品	14.9	分類不明	24.9	熱可塑性樹脂	18.7	板紙	9.2	板紙	4.0
硫酸	14.1	他非鉄金属地金	23.3	塩	17.2	アルミニウム	9.1	他窯業・土石製品	3.9
圧縮ガス・液化ガス	5.1	廃棄物処理(産業)	21.1	洋紙・和紙	16.8	他窯業・土石製品	7.7	パルプ	3.9
耐火物	3.0	石油化学系芳香族製品	18.6	分類不明	13.1	塩	7.0	粗鋼(転炉)	3.9
航空輸送	2.3	他有機化学工業製品	15.1	航空輸送	9.0	粗鋼(転炉)	6.9	環式中間物	3.7
小売	1.9	航空輸送	14.2	石油化学系芳香族製品	8.9	板・安全ガラス	6.8	分類不明	3.3
他窯業原料鉱物	1.6	他合成樹脂	13.7	廃棄物処理(産業)	8.8	分類不明	6.7	廃棄物処理(産業)	3.1
通運	1.2	合成ゴム	13.1	他無機化学工業製品	8.8	他非鉄金属地金	6.6	航空輸送	3.0
上水道・簡易水道	1.2	洋紙・和紙	12.1	原油	7.4	熱可塑性樹脂	6.1	アルミニウム	2.7
港湾運送	1.1	他窯業原料鉱物	11.2	熱間圧延鋼材	7.2	廃棄物処理(産業)	5.7	原油	2.6
原油	1.0	プラスチック製品	9.3	セメント	5.9	航空輸送	5.4	熱間圧延鋼材	2.5
石灰石	0.9	アンモニア	9.2	他有機化学工業製品	5.1	他無機化学工業製品	4.3	塩	2.4
電線・ケーブル	0.8	他ガラス製品	8.9	他合成樹脂	4.9	原油	4.2	熱可塑性樹脂	2.4
鉄道貨物輸送	0.6	環式中間物	8.0	冷間仕上鋼材	4.0	熱間圧延鋼材	4.0	他無機化学工業製品	2.2
倉庫	0.6	冷間仕上鋼材	7.6	非鉄金属鉱物	4.0	粗鋼(電気炉)	3.6	粗鋼(電気炉)	2.1
電球類	0.4	熱硬化性樹脂	7.3	ハイヤー・タクシー	3.9	パルプ	3.5	他非鉄金属地金	2.1
工業用水	0.3	ハイヤー・タクシー	7.0	企業内研究開発	3.6	アンモニア	2.7	板・安全ガラス	1.3
		研磨材	6.4	アンモニア	3.5	冷間仕上鋼材	2.4	冷間仕上鋼材	1.3
		企業内研究開発	6.2	板紙	3.3	企業内研究開発	2.2	アンモニア	1.2
		ガラス繊維・同製品	6.0	卸売	3.0	ハイヤー・タクシー	2.2	ハイヤー・タクシー	1.2
		高機能性樹脂	5.8	プラスチック製品	2.9	非鉄金属鉱物	2.0	企業内研究開発	1.2
		卸売	5.2	熱硬化性樹脂	2.8	他有機化学工業製品	1.9	鋳鉄品及び鍛工品	1.1
		塩	5.0	メタン誘導品	2.7	他合成樹脂	1.7	他合成樹脂	0.8
		都市ガス	4.1	炭素・黒鉛製品	2.7	鋳鉄品及び鍛工品	1.6	卸売	0.8
		天然ガス	4.0	合成ゴム	2.5	卸売	1.5	他有機化学工業製品	0.8
		他非金属鉱物	3.9	パルプ	2.4	フェロアロイ	1.4	亜鉛	0.7
		廃棄物処理(公営)	3.8	他窯業原料鉱物	2.4	亜鉛	1.4	合成ゴム	0.7
		原油	3.8	染色整理	2.3	メタン誘導品	1.3	非鉄金属鉱物	0.7
		可塑剤	3.5	亜鉛	2.2	染色整理	1.2	他対事業所サービス	0.6
		建設補修	3.5	粗鋼(転炉)	2.1	他対事業所サービス	1.1	染色整理	0.5
		コールタール製品	3.4	他対事業所サービス	1.9	プラスチック製品	1.1	他化学最終製品	0.5
		鉛	3.1	他ガラス製品	1.7	合成ゴム	1.0	メタン誘導品	0.5
		セメント	3.1	高機能性樹脂	1.7	他化学最終製品	1.0	プラスチック製品	0.5
		亜鉛	3.0	港湾運送	1.6	港湾運送	0.9	不動産賃貸業	0.5
		その他計	65.4	その他計	49.9	その他計	31.0	その他計	16.4
合計	8141.9	合計	2875.5	合計	1481.8	合計	786.1	合計	440.9
累積	8141.9	累積	11017.5	累積	12499.2	累積	13285.4	累積	13726.3

注1）上位50位かつ排出量0.1t-CO_2以上の財について表示.

注2）国内および海外でのマテリアル生産からのCO_2排出は含まれているが，外洋輸送からのCO_2排出は含まれていない.

表 11: （続）SPS1基あたり太陽電池製造からのCO_2排出量－原材料・エネルギー投入－

(単位：1000t-CO_2)

間接5次効果		間接6次効果		間接7次効果		間接8次効果		直接間接合計	
事業用発電	55.5	事業用発電	29.6	事業用発電	15.6	事業用発電	8.2	事業用発電	7540.0
自家発電	36.6	自家発電	18.8	石炭製品	10.9	石炭製品	6.0	板・安全ガラス	1634.3
石炭製品	31.9	石炭製品	18.7	自家発電	10.4	自家発電	5.5	自家発電	919.7
銑鉄	22.9	銑鉄	14.2	銑鉄	7.9	銑鉄	4.5	石炭製品	416.6
石油製品	10.9	石油製品	5.2	石油製品	2.6	石油製品	1.3	道路貨物輸送	270.9
石油化学基礎製品	6.5	石油化学基礎製品	3.0	洋紙・和紙	1.5	洋紙・和紙	0.8	石油製品	241.2
自家貨物輸送	5.8	洋紙・和紙	2.8	自家貨物輸送	1.4	自家貨物輸送	0.8	アルミニウム	233.7
洋紙・和紙	5.2	自家貨物輸送	2.8	石油化学基礎製品	1.4	石油化学基礎製品	0.7	他無機化学工業製品	216.0
自家旅客輸送	4.4	自家旅客輸送	2.3	自家旅客輸送	1.2	自家旅客輸送	0.7	ソーダ工業製品	204.5
脂肪族中間物	3.3	道路貨物輸送	1.7	フェロアロイ	0.9	フェロアロイ	0.5	他窯業・土石製品	204.2
道路貨物輸送	3.1	フェロアロイ	1.6	道路貨物輸送	0.9	道路貨物輸送	0.5	研磨材	169.8
セメント	2.9	脂肪族中間物	1.6	粗鋼(転炉)	0.8	粗鋼(転炉)	0.4	脂肪族中間物	163.4
石油化学系芳香族製品	2.7	セメント	1.5	脂肪族中間物	0.8	セメント	0.4	石油化学基礎製品	149.9
フェロアロイ	2.7	粗鋼(転炉)	1.3	セメント	0.8	脂肪族中間物	0.4	自家貨物輸送	149.6
沿海・内水面輸送	2.6	沿海・内水面輸送	1.3	沿海・内水面輸送	0.7	沿海・内水面輸送	0.4	沿海・内水面輸送	135.5
ソーダ工業製品	2.5	他窯業・土石製品	1.2	他窯業・土石製品	0.7	他窯業・土石製品	0.4	自家旅客輸送	105.6
粗鋼(転炉)	2.4	ソーダ工業製品	1.2	パルプ	0.6	パルプ	0.3	銑鉄	95.3
他窯業・土石製品	2.2	石油化学系芳香族製品	1.2	ソーダ工業製品	0.6	ソーダ工業製品	0.3	環式中間物	93.0
パルプ	2.2	パルプ	1.1	石油化学系芳香族製品	0.5	分類不明	0.3	熱可塑性樹脂	92.6
分類不明	1.7	分類不明	0.9	分類不明	0.5	石油化学系芳香族製品	0.3	他ガラス製品	72.1
航空輸送	1.6	航空輸送	0.9	航空輸送	0.5	航空輸送	0.2	洋紙・和紙	63.5
板紙	1.6	廃棄物処理(産業)	0.8	熱間圧延鋼材	0.4	熱間圧延鋼材	0.2	アルミ圧延製品	56.9
廃棄物処理(産業)	1.6	熱間圧延鋼材	0.8	廃棄物処理(産業)	0.4	廃棄物処理(産業)	0.2	他非鉄金属地金	53.3
原油	1.5	板紙	0.8	粗鋼(電気炉)	0.4	粗鋼(電気炉)	0.2	合成ゴム	52.0
環式中間物	1.5	原油	0.8	板紙	0.4	板紙	0.2	分類不明	51.8
熱間圧延鋼材	1.4	粗鋼(電気炉)	0.7	原油	0.4	環式中間物	0.2	石油化学系芳香族製品	50.2
粗鋼(電気炉)	1.3	環式中間物	0.7	環式中間物	0.3	原油	0.2	プラスチック製品	46.8
他無機化学工業製品	1.1	熱可塑性樹脂	0.6	熱可塑性樹脂	0.3	熱可塑性樹脂	0.2	廃棄物処理(産業)	42.1
熱可塑性樹脂	1.1	他無機化学工業製品	0.6	他無機化学工業製品	0.3	他無機化学工業製品	0.1	航空輸送	37.3
アルミニウム	1.0	アルミニウム	0.4	冷間仕上鋼材	0.2	冷間仕上鋼材	0.1	セメント	35.2
塩	0.9	冷間仕上鋼材	0.4	アルミニウム	0.2	鉄鉱石	0.1	塩	33.4
冷間仕上鋼材	0.8	塩	0.4	鉄鉱石	0.2	アルミニウム	0.1	卸売	29.7
他非鉄金属地金	0.8	鋳鉄品及び鍛工品	0.4	鋳鉄品及び鍛工品	0.2	鋳鉄品及び鍛工品	0.1	他有機化学工業製品	23.5
鉄鉱石	0.7	鉄鉱石	0.4	塩	0.2	その他計	2.3	原油	22.0
鋳鉄品及び鍛工品	0.7	ハイヤー・タクシー	0.3	ハイヤー・タクシー	0.2			他合成樹脂	21.9
ハイヤー・タクシー	0.6	他非鉄金属地金	0.3	他非鉄金属地金	0.2			炭素・黒鉛製品	21.0
企業内研究開発	0.6	企業内研究開発	0.3	企業内研究開発	0.2			他金属製品	20.2
アンモニア	0.5	アンモニア	0.2	亜鉛	0.1			板紙	20.0
亜鉛	0.4	亜鉛	0.2	アンモニア	0.1			熱間圧延鋼材	18.9
卸売	0.4	合成ゴム	0.2	合成ゴム	0.1			粗鋼(転炉)	18.3
合成ゴム	0.4	卸売	0.2	卸売	0.1			アンモニア	17.6
他合成樹脂	0.4	他合成樹脂	0.2	石炭	0.1			冷間仕上鋼材	17.1
他対事業所サービス	0.3	他対事業所サービス	0.2	他合成樹脂	0.1			硫酸	16.3
板・安全ガラス	0.3	石炭	0.2	その他計	2.9			他窯業原料鉱物	15.8
他有機化学工業製品	0.3	他有機化学工業製品	0.1					ハイヤー・タクシー	15.7
染色整理	0.3	染色整理	0.1					企業内研究開発	14.5
他化学最終製品	0.3	他化学最終製品	0.1					パルプ	14.4
不動産賃貸業	0.3	プラスチック製品	0.1					フェロアロイ	12.3
プラスチック製品	0.2	不動産賃貸業	0.1					熱硬化性樹脂	11.3
めっき鋼材	0.2	めっき鋼材	0.1					粗鋼(電気炉)	9.6
その他計	8.6	その他計	4.5					その他計	262.2
合計	239.9	合計	128.6	合計	69.2	合計	37.0	合計	14232.3
累積	13966.1	累積	14094.7	累積	14163.9	累積	14200.9	累積	14232.3

表 12: SPS1基あたり太陽電池製造からのCO_2排出量－資本財－

(単位：1000t-CO_2)

直接効果		間接1次効果		間接2次効果		間接3次効果		間接4次効果	
鋳鉄品及び鍛工品	10.0	事業用発電	12.6	事業用発電	11.8	事業用発電	7.9	銑鉄	10.4
他特殊産業機械	3.4	他窯業・土石製品	4.8	セメント	8.9	銑鉄	7.1	事業用発電	5.3
非住宅建築(非木造)	2.0	石炭製品	3.8	石炭製品	4.3	自家発電	3.1	石炭製品	4.2
金属加工機械	1.0	自家旅客輸送	2.8	熱間圧延鋼材	1.8	石炭製品	2.1	自家発電	3.0
炭素・黒鉛製品	0.8	鋳鉄品及び鍛工品	2.7	他窯業・土石製品	1.5	粗鋼(転炉)	1.8	フェロアロイ	1.2
分析器・試験機・計量器・測定器	0.5	銑鉄	2.3	自家発電	1.3	粗鋼(電気炉)	0.9	粗鋼(転炉)	0.9
他産業用重電機器	0.4	道路貨物輸送	2.0	自家旅客輸送	1.2	熱間圧延鋼材	0.9	自家貨物輸送	0.5
他窯業・土石製品	0.3	自家貨物輸送	1.8	粗鋼(転炉)	1.2	自家貨物輸送	0.8	石油製品	0.5
		分類不明	1.5	自家貨物輸送	1.2	フェロアロイ	0.8	粗鋼(電気炉)	0.5
		廃棄物処理(産業)	1.4	鋳鉄品及び鍛工品	1.0	洋紙・和紙	0.7	洋紙・和紙	0.4
		セメント	1.2	道路貨物輸送	1.0	石油製品	0.6	他窯業・土石製品	0.4
		熱間圧延鋼材	1.2	石油製品	1.0	自家旅客輸送	0.6	自家旅客輸送	0.4
		冷間仕上鋼材	1.2	冷間仕上鋼材	0.9	他窯業・土石製品	0.5	熱間圧延鋼材	0.3
		企業内研究開発	0.6	洋紙・和紙	0.7	アルミニウム	0.5	道路貨物輸送	0.3
		沿海・内水面輸送	0.6	粗鋼(電気炉)	0.7	道路貨物輸送	0.5	石油化学基礎製品	0.3
		航空輸送	0.5	沿海・内水面輸送	0.7	冷間仕上鋼材	0.4	アルミニウム	0.2
		鋳鍛鋼	0.5	航空輸送	0.6	沿海・内水面輸送	0.3	沿海・内水面輸送	0.2
		他特殊産業機械	0.5	分類不明	0.5	石油化学基礎製品	0.3	セメント	0.2
		鋼管	0.5	アルミニウム	0.5	セメント	0.3	パルプ	0.1
		他建設用土石製品	0.5	熱可塑性樹脂	0.4	分類不明	0.3	分類不明	0.1
		ハイヤー・タクシー	0.5	廃棄物処理(産業)	0.4	航空輸送	0.2	脂肪族中間物	0.1
		洋紙・和紙	0.4	他非鉄金属地金	0.3	他非鉄金属地金	0.2	板紙	0.1
		石油製品	0.4	亜鉛	0.3	熱可塑性樹脂	0.2	他非鉄金属地金	0.1
		自家発電	0.4	ハイヤー・タクシー	0.2	亜鉛	0.2	航空輸送	0.1
		卸売	0.4	企業内研究開発	0.2	鋳鉄品及び鍛工品	0.2	ソーダ工業製品	0.1
		非鉄金属鋳鍛造品	0.3	鋳鍛鋼	0.2	脂肪族中間物	0.2	冷間仕上鋼材	0.1
		鉛	0.3	銅	0.2	環式中間物	0.2	鉄鉱石	0.1
		他金属製品	0.3	めっき鋼材	0.2	廃棄物処理(産業)	0.2	環式中間物	0.1
		セメント製品	0.3	合成ゴム	0.2	板紙	0.2	熱可塑性樹脂	0.1
		土木建築サービス	0.2	鋼管	0.2	ソーダ工業製品	0.1	廃棄物処理(産業)	0.1
		板・安全ガラス	0.2	脂肪族中間物	0.1	パルプ	0.1	その他計	1.5
		建築用金属製品	0.2	卸売	0.1	他無機化学工業製品	0.1		
		他非鉄金属地金	0.2	他無機化学工業製品	0.1	その他計	2.4		
		陶磁器	0.2	他合成樹脂	0.1				
		プラスチック製品	0.2	アルミ圧延製品	0.1				
		ボルト・ナット・リベット及びスプリング	0.2	板紙	0.1				
		他ゴム製品	0.2	プラスチック製品	0.1				
		めっき鋼材	0.2	鉛	0.1				
		金属加工機械	0.2	非鉄金属鋳鍛造品	0.1				
		塗工紙・建設用加工紙	0.1	その他計	3.3				
		生コンクリート	0.1						
		脂肪族中間物	0.1						
		建設用金属製品	0.1						
		他一般機械器具及び部品	0.1						
		バス	0.1						
		ガラス繊維・同製品	0.1						
		フェロアロイ	0.1						
		その他計	2.7						
合計	18.4	合計	51.7	合計	47.9	合計	35.3	合計	32.0
累積	18.4	累積	70.1	累積	118.0	累積	153.3	累積	185.2

注1）上位50位かつ排出量0.1t-CO_2以上の財について表示.

注2）国内および海外でのマテリアル生産からのCO_2排出は含まれているが，外洋輸送からのCO_2排出は含まれていない.

表 12: （続）SPS1 基あたり太陽電池製造からのCO_2排出量－資本財－

（単位：1000t-CO_2）

間接5次効果		間接6次効果		間接7次効果		間接8次効果		直接間接合計	
石炭製品	5.5	石炭製品	3.1	石炭製品	1.3	事業用発電	0.5	事業用発電	45.1
銑鉄	5.1	事業用発電	2.1	事業用発電	1.0	石炭製品	0.5	銑鉄	28.0
事業用発電	3.5	銑鉄	1.9	自家発電	0.7	自家発電	0.4	石炭製品	25.2
自家発電	1.9	自家発電	1.1	銑鉄	0.6	銑鉄	0.2	鋳鉄品及び鍛工品	14.0
フェロアロイ	0.6	フェロアロイ	0.2	石油製品	0.1	その他計	0.7	自家発電	12.3
石油製品	0.3	石油製品	0.2	自家貨物輸送	0.1			セメント	10.8
粗鋼(転炉)	0.3	自家貨物輸送	0.2	その他計	1.0			他窯業・土石製品	7.9
自家貨物輸送	0.3	洋紙・和紙	0.1					自家旅客輸送	5.4
洋紙・和紙	0.2	自家旅客輸送	0.1					自家貨物輸送	5.0
他窯業・土石製品	0.2	他窯業・土石製品	0.1					熱間圧延鋼材	4.4
自家旅客輸送	0.2	その他計	1.5					粗鋼(転炉)	4.3
鉄鉱石	0.2							道路貨物輸送	4.1
粗鋼(電気炉)	0.2							他特殊産業機械	4.0
石油化学基礎製品	0.2							石油製品	3.3
道路貨物輸送	0.2							フェロアロイ	3.1
沿海・内水面輸送	0.1							洋紙・和紙	2.8
セメント	0.1							冷間仕上鋼材	2.7
その他計	1.8							分類不明	2.6
								粗鋼(電気炉)	2.3
								廃棄物処理(産業)	2.2
								沿海・内水面輸送	2.0
								非住宅建築(非木造)	2.0
								航空輸送	1.7
								アルミニウム	1.4
								金属加工機械	1.2
								炭素・黒鉛製品	1.1
								石油化学基礎製品	1.0
								企業内研究開発	1.0
								熱可塑性樹脂	1.0
								他非鉄金属地金	1.0
								ハイヤー・タクシー	0.9
								鋳鍛鋼	0.8
								脂肪族中間物	0.8
								鋼管	0.7
								卸売	0.6
								亜鉛	0.6
								パルプ	0.6
								板紙	0.6
								分析器・試験機・計量器・測定器	0.5
								ソーダ工業製品	0.5
								他建設用土石製品	0.5
								環式中間物	0.5
								めっき鋼材	0.5
								非鉄金属鋳鍛造品	0.5
								鉛	0.5
								鉄鉱石	0.5
								他無機化学工業製品	0.4
								他産業用重電機器	0.4
								プラスチック製品	0.4
								他金属製品	0.4
								その他計	12.2
合計	20.8	合計	10.7	合計	4.9	合計	2.2	合計	226.1
累積	206.1	累積	216.7	累積	221.7	累積	223.9	累積	226.1

4 レクテナ

地上に建設・設置されるレクテナ（Rectenna、receiving antenna、受電アンテナ）の基本的な役割は、静止軌道上のSPSから送信される電力マイクロ波をダイポールアンテナによって受信し、整流素子(ガリウムヒ素ショットキーダイオード)によって直流変換することである。その後、直流電流は、コンバータ(インバータ)によって交流電流に変換され、各産業・家計に配電される。

レクテナの受電特性は、受信周波数:2.45GHz, 中心部と周辺部の電力密度:23mW/cm^{2}と1mW/cm^{2}であり、受電電力は、レクテナ表面で2%反射され、レクテナ背面へ1%リークし、受電整流時に7%損失する。レクテナの開口形状は、赤道上では半径5kmの円形であり、緯度の上昇とともに、南北方向の軸が長い楕円形へと変化し、北緯30度付近に設置する場合は、約100km^{2}の広大な地上面積を必要とする[5]。ゆえに、各国の自然的、経済社会的な要因に対応して、いろいろな設置場所や設置方法が考察されているが、本章は、DOE/NASAリファレンスシステムにもとづいて、陸上に設置される5GW用のレクテナのCO_2負荷を計測する[6]。

4.1 CO_2負荷の推計範囲と推計方法

レクテナ1基あたりのCO_2負荷を、レクテナの基本的な機能と構造物の構成にもとづいて、(1)アンテナ関連製品、(2)架台[7]、(3)電気設備および(4)建設・設置工事に区分し、環境分析用の産業連関分析によって推計する。表13は、DOE/NASAリファレンスシステムから得られるレクテナの建設資材・原材料と物量(DOE/ER[2]p61,Table4)を最終的なレクテナの構造物に対応させている。

表 13: レクテナの基礎データ

建設資材・原材料	物量(t)	レクテナの基本構成・用途
アルミニウム	140000	マイクロ波の受電アンテナ((1)に含む)
ガリウムヒ素	9	ガリウムヒ素ショットキーダイオード(同上、受電したマイクロ波(交流)を直流変換する整流装置)
鉄	1492000	架台((2)に対応)
コンクリート	1330000	架台の固定((4)に含む)

レクテナのCO_2負荷を推計する基礎データは、基本的に表13にもとづくが、整流装置によって直流化された電力を交流電力に変換する(3)電気設備の推計に際しては、太陽光発電の電気設備の値をもちいる。

推計方法は、表13の基礎データが物量ベースの原材料であることから、それに対応する単価（以下の説明において、単価はすべて『1990年産業連関表:部門別品目別国内生産額表』から得る）を掛け、価額を求めた後、基礎資材・原材料の加工度を考慮して、金額を調整する。そして、商業・運輸マージンを付加することによって、最終需要ベクトルを作成する。

また、(i)レクテナの耐用年数は30年、(ii)設置地点は、橋本[27]によって、北緯35度（面積:96km^2、短軸:9.6Km、長軸12.7Km）に調整し、(iii)レクテナから産業・家計への送電関係のケーブルは推計に含めていない。(1)〜(4)の具体的な推計方法についてはつぎのとおり[8]。

[5]レクテナについてはNEDO[23]、NEDO[24]、橋本[26]、畚野[29]、DOE/ER[2]、NASA[4]等を参照。

[6]OTA[5]は、広大な国土を有するアメリカ合衆国について、レクテナの設置にふさわしい地域を具体的に特定し、将来の地域的な電力需要とレクテナの立地数の関係を考察している。また、レクテナを陸地に設置する方法だけでなく、干拓・堤防を建造し、そのなかにレクテナを設置する方法[3]やレクテナを海洋上の浮体構造物によって支える方法[27]などが具体的に考案されている。

[7]いろいろな架台の設計方法にかんしては、NASA[4]が詳しい。

[8]CO_2負荷を推計するにあたって、菊川国昭氏、石原浩行氏と分部英郎氏(以上、NEC)には、衛星工場の見学をはじめとして、アンテナ構造について、後藤典夫氏と嶋脇秀徳氏(以上、NEC)、成尾芳博氏(文部省宇宙科学研究所成)には整流素子について、加藤和彦氏(電子技術総合研究所)と稲葉敦氏(資源環境技術総合研究所)には、レクテナの電気設備と建設・設置工事費用を推計する際に利用した太陽光発電の基礎資料について、いろいろとご教示いただきました。謝意を申し上げます。

(1) アンテナ関連製品

アンテナ部分のアルミ関連製品は、ダイポールアンテナと母線バス・アルミ導体棒であり、電力の集配の役割を担う一方、アンテナ構造物において梁(beam)や母屋桁(purlin)の役割を担うことから(NASA[4])、アルミ関連製品の原材料(140千t)にアルミニウム単価（640202円／t）を掛け、アルミ圧延製品部門によって金額を推計した。

整流素子（ガリウムヒ素ショットキーダイオード）は、今日的なRF/DC変換効率にもとづいて個数を求め（1×10^{10}個）[9]、単価（97705円／千個）を掛けた(表14を参照)。

表 14: アンテナ関連製品

レクテナの構成	金額（億円）	I-O表対応コード	産業連関表の部門
アンテナ・導体	1771.8	2722021	アルミ圧延製品
ガリヒ素ダイオード	9770.5	3341011	半導体素子
商業・運輸マージン関連部門			
卸売	929.5	6111011	
小売	5.9	6112011	
鉄道貨物輸送	0.4	7112011	
道路貨物輸送	117.2	7122011	
通運	0.3	7122021	
沿海・内水面貨物輸送	3.9	7142012	
港湾輸送	2.6	7143011	
国内航空貨物輸送	20.1	7151013	
倉庫	36.3	7161011	
計	12658.6		

(2) 架台

アンテナを支える架台の価額は、原材料（1492千t）に熱間圧延鋼材の単価(63008円／t)を掛けて求めた(表15参照)。

表 15: 架台

レクテナの構成	金額（億円）	I-O表対応コード	産業連関表の部門
架台	940.1	2621011	普通鋼形鋼
商業・運輸マージン関連部門			
卸売	83.6	6111011	
鉄道貨物輸送	0.1	7112011	
道路貨物輸送	22.2	7122011	
通運	0.1	7122021	
沿海・内水面貨物輸送	5.0	7142012	
港湾輸送	8.0	7143011	
倉庫	7.5	7161011	
計	1066.6		

(3) 電気設備

太陽光発電の電気設備（加藤他[16], 野村他[25]）をもちいて、5GW用のクテナの電気設備(インバータと制御装置)の値を求めた(表16参照)。

[9]成尾芳博氏より御教示いただいた。ちなみに、ダイオードの個数は文献によって異なっており、NASA[4]は1.3×10^{10}個、DOE/ER[2]は8.7×10^{9}個、R.Andryczyl et.al[1]は7.6×10^{9}個である。

表 16: 電気設備 (5GW 用)

レクテナの構成	金額（億円）	I-O 表対応コード	産業連関表の部門
インバータ	455.1	3411021	開閉制御装置および配電盤
制御装置	23.7	3411021	開閉制御装置および配電盤
商業・運輸マージン関連部門			
卸売	92.5	6111011	
鉄道貨物輸送	0.0	7112011	
道路貨物輸送	4.3	7122011	
通運	0.0	7122021	
沿海・内水面貨物輸送	0.1	7142012	
港湾輸送	0.1	7143011	
国内航空貨物輸送	0.1	7151013	
倉庫	1.2	7161011	
計	577.1		

(4) 建設・設置工事

はじめに、架台を固定するために必要なコンクリートの価額は、133 万 t に単価 (11500 円/m^3) を掛けて求めた[10]。つぎに、産業連関表の電力施設建設部門 (I-O 表符号:4132021) からボイラ部門、タービン部門、(3) で推計した電気設備部門等を除いた投入係数ベクトルを作成し、レクテナと太陽光発電（加藤他 [16], 野村他 [25]）の鋼材量の相異を考慮したレクテナ建設・設置のために必要な建設資材額を推計した[11]。表 17はレクテナ建設・設置ベクトルの上位 5 部門を示している。

表 17: 建設・設置工事

産業連関表の部門	金額 (億円)	I-O 表対応コード
建設用金属製品	152.7	2811011
ケーブル	97.0	2721013
生コンクリート	61.2	2522011
工業用陶磁器	46.6	2531012
建設機械器具賃貸業	43.9	8513012
上位 5 部門以外	342.6	
商業・運輸マージン関連部門		
卸売	64.2	6111011
小売	4.2	6112011
鉄道貨物輸送	0.1	7112011
道路貨物輸送	16.8	7122011
通運	0.1	7122021
沿海・内水面貨物輸送	0.9	7142012
港湾輸送	0.8	7143011
国内航空貨物輸送	0.2	7151013
倉庫	1.2	7161011
計	832.3	

4.2 レクテナ 1 基あたり CO_2 負荷

表 18は、前節で推計した (1) から (4) のベクトルにもとづいたレクテナの CO_2 負荷を示しており、レクテナ 1 基あたり、644.8 万 t 排出することがわかる。その内訳は、(1) アンテナが 369.5 万 t、(2) 架台が 210.9

[10] コンクリートは $1m^3$=2.5t で換算（建設省 [18]）。
[11] ただし、加藤和彦氏より、建設・設置費用は、鋼材量よりも、設置場所や風強等に強く依存するとのご指摘を受けている。

万t、(3) 電気設備が13.8万t、そして(4) 建設・設置工事が50.7万tであって、レクテナの基本的な役割＝マイクロ波の受電・整流を担うアンテナ部分がレクテナ全体の約6割のCO_2を排出し、第2位の架台部分を加えると、両者のみで、全体の約9割を占める。

表 18: レクテナのCO_2負荷

	アンテナ	架台	電気設備	建設・設置工事	計
CO_2負荷(万t)	369.5	210.9	13.8	50.7	644.8
比率	57%	33%	2%	8%	100%

つぎに、表19から表22によって、レクテナの(1)から(4)の構成ごとに、どの産業部門がCO_2の主要な排出源なのかを明らかにしていこう。表19は、(1) アンテナのCO_2負荷であり、直接的には、整流素子としての半導体・集積回路、そしてアンテナ導体関連製品としてのアルミ圧延製品部門が、それぞれ、11.7万tと8.0万tのCO_2を排出し、マージン関連部門が7.2万tのCO_2を排出する。しかし、直接・間接のCO_2排出量を見ると、アンテナの各構成部品を製造するために必要な事業用電力部門が第1位（145.6万t）であり、第2位は自家発電部門（32.9万t）、第3位はアルミニウム部門（27.4万t）であり、上位2部門でアンテナ部の全体（369.5万t）の5割弱を、そして上位3部門で、6割弱を占める。表20は、(2) 架台のCO_2負荷であり、直接的には、熱間圧延鋼材部門が13.5万t、マージン関連部門が1.5万tのCO_2を排出し、直接的間接的には、熱間圧延鋼材の原材料である銑鉄部門が76.8万tで第1位であり、第2位は石炭製品部門（41.8万t）、第3位は事業用発電部門（24.3万t）であって、上位2部門で架台部全体（210.9万t）の5割を超えるCO_2負荷を示している。表21は、(3) 電気設備のCO_2負荷を示している。直接的には開閉制御装置および配電盤部門から0.4万t、マージン関連部門から0.3万tのCO_2が排出されるが、直接・間接排出量の総計では、事業用発電が3.4万tと第1位である。第2位は銑鉄部門（1.3万t）、第3位は石炭製品部門（1.1万t）であって、上位3部門で、電気設備全体=13.8万tの4割を占める。表22は、(4) 建設・設置工事にかんするCO_2負荷である。直接効果は事業用発電部門が第1位であり、つぎに、巨大な土木工事を反映してか、輸送関連部門が上位を占める。そして、直接間接のCO_2排出量の総計では、第1位はセメント部門（11.2万t）であり、第2位は事業用発電部門（9.1万t）、第3位は銑鉄部門（4.7万t）であり、上位3部門で、全体=50.7万tのほぼ5割を占める。ゆえに、(2) 架台や(3) 建設・設置工事では、それぞれ銑鉄部門とセメント部門がCO_2負荷の総計で第1位を占めるが、(1)から(4)のすべてにおいて、事業用発電部門が上位を占めていることが特徴的である。

最後に、表23によって、レクテナ全体（1基）のCO_2負荷を見てみよう。直接効果は、レクテナが大量の鋼材、半導体素子（ダイオード）およびアルミ導体関連製品を使用することから、第1位は熱間圧延鋼材部門（13.7万t）、第2位は半導体素子・集積回路部門（11.7万t）、そして第3位はアルミ圧延製品部門（8万t）であり、上位3部門で直接効果の総計=51.6万tの6割以上を占める。しかし、CO_2負荷の直接間接排出量を見ると、第1位は事業用発電部門（182.3万t）、第2位は銑鉄部門（87.5万t）、第3位は石炭製品部門（58.4万t）であり、以下、自家発電部門（49.8万t）、アルミニウム部門（27.8万t）、熱間圧延鋼材部門（15.6万t）の順に大きく、上位3部門で、全体の5割を超えるCO_2を排出しており、とくに、事業用発電部門のみで、全体の約3割のCO_2負荷をもつ。したがって、レクテナのCO_2負荷は、直接的には、レクテナの基本的な構成物に対応した鋼材やアンテナ・導体関連製品によって引き起こされるが、産業部門間の投入産出関係をとおして引き起こされる最終的な効果は、財・サービスを生産するために必要な事業用発電部門が最大のCO_2排出源であることを示している。ゆえに、レクテナのCO_2負荷は、第1には、(1) アンテナ関連製品および(2) 架台の構造設計の方法と、第2には、電力生産の方法によって、大きく変化することが伺える。

表 19: アンテナ関連製品からのCO_2排出量

(単位：10000t-CO_2)

直接効果		間接1次効果		間接2次効果		間接3次効果		間接4次効果	
半導体素子・集積回路	11.7	事業用発電	70.5	事業用発電	36.3	事業用発電	18.3	事業用発電	10.1
アルミ圧延製品	8.0	アルミニウム	20.4	自家発電	12.0	自家発電	8.4	自家発電	5.5
道路貨物輸送	4.0	企業内研究開発	5.9	アルミニウム	4.9	石炭製品	2.8	自家貨物輸送	1.9
航空輸送	1.6	他非鉄金属地金	2.7	他非鉄金属地金	4.6	自家貨物輸送	2.4	石炭製品	1.8
卸売	1.1	自家旅客輸送	2.5	石炭製品	2.7	洋紙・和紙	2.1	銑鉄	1.2
沿海・内水面輸送	0.4	道路貨物輸送	2.3	自家旅客輸送	2.0	他非鉄金属地金	1.6	石油製品	1.1
その他計	0.1	他軽電機器	1.9	石油製品	1.8	石油製品	1.4	洋紙・和紙	1.0
		自家貨物輸送	1.6	洋紙・和紙	1.8	アルミニウム	1.4	自家旅客輸送	0.8
		脂肪族中間物	1.3	道路貨物輸送	1.6	自家旅客輸送	1.3	セメント	0.7
		他無機化学工業製品	1.2	ソーダ工業製品	1.4	道路貨物輸送	0.9	石油化学基礎製品	0.6
		分類不明	1.2	自家貨物輸送	1.2	石油化学基礎製品	0.7	道路貨物輸送	0.5
		他電子・通信機器部分品	1.2	分類不明	1.2	ソーダ工業製品	0.7	他非鉄金属地金	0.4
		航空輸送	1.1	航空輸送	1.0	熱可塑性樹脂	0.6	アルミニウム	0.4
		他窯業・土石製品	1.0	沿海・内水面輸送	0.8	分類不明	0.6	パルプ	0.4
		石油製品	0.9	他窯業・土石製品	0.7	航空輸送	0.6	沿海・内水面輸送	0.4
		メタン誘導品	0.8	他無機化学工業製品	0.7	沿海・内水面輸送	0.6	ソーダ工業製品	0.3
		沿海・内水面輸送	0.7	熱可塑性樹脂	0.7	セメント	0.6	脂肪族中間物	0.3
		卸売	0.7	脂肪族中間物	0.6	他窯業・土石製品	0.5	航空輸送	0.3
		自家発電	0.6	廃棄物処理(産業)	0.6	非鉄金属鉱物	0.4	板紙	0.3
		ハイヤー・タクシー	0.5	企業内研究開発	0.6	脂肪族中間物	0.4	分類不明	0.3
		炭素・黒鉛製品	0.4	石油化学基礎製品	0.5	廃棄物処理(産業)	0.4	他窯業・土石製品	0.3
		熱硬化性樹脂	0.4	非鉄金属鉱物	0.5	板紙	0.4	熱可塑性樹脂	0.3
		鉛	0.4	炭素・黒鉛製品	0.4	パルプ	0.4	粗鋼(転炉)	0.3
		プラスチック製品	0.3	ハイヤー・タクシー	0.4	銅	0.4	環式中間物	0.3
		他ガラス製品	0.3	他電子・通信機器部分品	0.4	環式中間物	0.3	廃棄物処理(産業)	0.2
		半導体素子・集積回路	0.3	板紙	0.3	熱間圧延鋼材	0.3	石油化学系芳香族製品	0.2
		ソーダ工業製品	0.2	鉛	0.3	他無機化学工業製品	0.3	非鉄金属鉱物	0.2
		他ゴム製品	0.2	卸売	0.3	企業内研究開発	0.2	熱間圧延鋼材	0.2
		アルミ圧延製品	0.2	冷間仕上鋼材	0.3	粗鋼(転炉)	0.2	他無機化学工業製品	0.2
		冷間仕上鋼材	0.2	環式中間物	0.3	塩	0.2	粗鋼(電気炉)	0.1
		石炭製品	0.2	合成ゴム	0.3	亜鉛	0.2	フェロアロイ	0.1
		廃棄物処理(産業)	0.2	他非鉄金属製品	0.3	ハイヤー・タクシー	0.2	企業内研究開発	0.1
		伸銅品	0.1	陶磁器	0.3	鉛	0.2	ハイヤー・タクシー	0.1
		バス	0.1	亜鉛	0.3	石油化学系芳香族製品	0.2	冷間仕上鋼材	0.1
		都市ガス	0.1	プラスチック製品	0.2	卸売	0.2	塩	0.1
		写真感光材料	0.1	熱間圧延鋼材	0.2	原油	0.1	原油	0.1
		配管工事付属品・粉末冶金製品・道具類	0.1	不動産賃貸業	0.2	冷間仕上鋼材	0.1	その他計	2.4
		圧縮ガス・液化ガス	0.1	ガラス繊維・同製品	0.2	他合成樹脂	0.1		
		不動産賃貸業	0.1	他ガラス製品	0.2	港湾運送	0.1		
		その他計	1.9	他対事業所サービス	0.2	プラスチック製品	0.1		
				銅	0.2	粗鋼(電気炉)	0.1		
				他合成樹脂	0.2	他電子・通信機器部分品	0.1		
				他軽電機器	0.2	炭素・黒鉛製品	0.1		
				港湾運送	0.1	鋳鉄品及び鍛工品	0.1		
				メタン誘導品	0.1	他対事業所サービス	0.1		
				鋳鉄品及び鍛工品	0.1	その他計	3.0		
				電線・ケーブル	0.1				
				他化学最終製品	0.1				
				原油	0.1				
				建設補修	0.1				
				その他計	3.4				
合計	26.9	合計	125.2	合計	87.9	合計	54.2	合計	33.6
累積	26.9	累積	152.1	累積	239.9	累積	294.1	累積	327.7

注1）上位50位かつ排出量1000t-CO_2以上の財について表示.

注2）国内および海外でのマテリアル生産からのCO_2排出は含まれているが，外洋輸送からのCO_2排出は含まれていない.

表 19: （続）アンテナ関連製品からのCO_2排出量

(単位：10000t-CO_2)

間接5次効果		間接6次効果		間接7次効果		間接8次効果		直接間接合計	
事業用発電	5.1	事業用発電	2.5	事業用発電	1.3	事業用発電	0.7	事業用発電	145.6
自家発電	3.0	自家発電	1.5	自家発電	0.8	石炭製品	0.5	自家発電	32.9
銑鉄	1.6	石炭製品	1.3	石炭製品	0.8	自家発電	0.5	アルミニウム	27.4
石炭製品	1.5	銑鉄	0.9	銑鉄	0.6	銑鉄	0.4	石炭製品	12.2
自家貨物輸送	0.8	石油製品	0.4	石油製品	0.2	石油製品	0.1	半導体素子・集積回路	12.0
石油製品	0.7	自家貨物輸送	0.3	自家貨物輸送	0.1	その他計	1.0	道路貨物輸送	10.0
洋紙・和紙	0.5	洋紙・和紙	0.3	洋紙・和紙	0.1			他非鉄金属地金	9.6
自家旅客輸送	0.4	石油化学基礎製品	0.2	石油化学基礎製品	0.1			自家貨物輸送	8.6
石油化学基礎製品	0.4	自家旅客輸送	0.2	自家旅客輸送	0.1			アルミ圧延製品	8.3
セメント	0.3	道路貨物輸送	0.2	その他計	1.4			自家旅客輸送	7.4
道路貨物輸送	0.3	セメント	0.1					企業内研究開発	6.9
パルプ	0.2	沿海・内水面輸送	0.1					石油製品	6.7
沿海・内水面輸送	0.2	脂肪族中間物	0.1					洋紙・和紙	6.1
脂肪族中間物	0.2	パルプ	0.1					航空輸送	4.9
ソーダ工業製品	0.2	フェロアロイ	0.1					銑鉄	4.8
フェロアロイ	0.2	粗鋼(転炉)	0.1					分類不明	3.5
他窯業・土石製品	0.2	その他計	1.9					沿海・内水面輸送	3.4
板紙	0.2							脂肪族中間物	3.1
粗鋼(転炉)	0.2							ソーダ工業製品	3.0
航空輸送	0.2							他窯業・土石製品	2.9
分類不明	0.1							石油化学基礎製品	2.7
石油化学系芳香族製品	0.1							他無機化学工業製品	2.5
アルミニウム	0.1							卸売	2.4
他非鉄金属地金	0.1							他軽電機器	2.0
環式中間物	0.1							セメント	1.9
廃棄物処理(産業)	0.1							熱可塑性樹脂	1.8
熱可塑性樹脂	0.1							他電子・通信機器部分品	1.7
熱間圧延鋼材	0.1							廃棄物処理(産業)	1.7
その他計	1.8							板紙	1.3
								ハイヤー・タクシー	1.3
								パルプ	1.3
								非鉄金属鉱物	1.1
								環式中間物	1.1
								メタン誘導品	1.1
								鉛	1.0
								炭素・黒鉛製品	1.0
								熱間圧延鋼材	0.9
								粗鋼(転炉)	0.9
								冷間仕上鋼材	0.9
								プラスチック製品	0.8
								石油化学系芳香族製品	0.7
								銅	0.7
								亜鉛	0.6
								熱硬化性樹脂	0.6
								フェロアロイ	0.6
								他ガラス製品	0.6
								原油	0.5
								不動産賃貸業	0.5
								粗鋼(電気炉)	0.5
								他対事業所サービス	0.5
								その他計	14.8
合計	19.2	合計	10.4	合計	5.8	合計	3.2	合計	369.5
累積	346.9	累積	357.3	累積	363.1	累積	366.2	累積	369.5

表 20: 架台からのCO_2排出量

(単位：100t-CO_2)

直接効果		間接1次効果		間接2次効果		間接3次効果		間接4次効果	
熱間圧延鋼材	1348.6	粗鋼(転炉)	1289.2	銑鉄	7656.3	石炭製品	3330.4	石炭製品	433.5
道路貨物輸送	76.5	粗鋼(電気炉)	661.9	フェロアロイ	835.0	事業用発電	552.0	事業用発電	383.9
沿海・内水面輸送	55.5	事業用発電	567.8	事業用発電	768.0	自家発電	327.9	自家発電	42.2
卸売	9.7	自家発電	331.9	自家発電	375.4	鉄鉱石	124.0	自家貨物輸送	40.2
港湾運送	5.4	石炭製品	302.0	他窯業・土石製品	129.6	他窯業・土石製品	49.1	石油製品	21.3
倉庫	0.5	自家旅客輸送	27.2	道路貨物輸送	22.8	銑鉄	30.5	石炭	15.9
通運	0.2	自家貨物輸送	18.7	炭素・黒鉛製品	20.6	フェロアロイ	20.5	自家旅客輸送	13.5
その他計	0.1	石油製品	15.3	自家旅客輸送	17.2	自家貨物輸送	16.6	沿海・内水面輸送	11.8
		分類不明	10.1	沿海・内水面輸送	14.0	石油製品	16.1	道路貨物輸送	8.7
		熱間圧延鋼材	7.5	石油製品	13.1	自家旅客輸送	14.5	航空輸送	6.5
		航空輸送	7.1	自家貨物輸送	10.5	沿海・内水面輸送	14.3	廃棄物処理(産業)	6.1
		沿海・内水面輸送	5.7	分類不明	8.9	道路貨物輸送	12.8	セメント	5.9
		企業内研究開発	4.2	アルミニウム	7.4	分類不明	12.4	分類不明	5.0
		道路貨物輸送	3.6	粗鋼(転炉)	7.2	廃棄物処理(産業)	5.7	洋紙・和紙	4.4
		廃棄物処理(産業)	3.5	石炭製品	5.9	セメント	5.4	他窯業・土石製品	4.0
		ハイヤー・タクシー	3.4	他非鉄金属地金	5.3	洋紙・和紙	4.8	ハイヤー・タクシー	2.8
		都市ガス	3.1	粗鋼(電気炉)	3.7	港湾運送	4.3	港湾運送	2.1
		卸売	2.3	圧縮ガス・液化ガス	3.5	航空輸送	4.1	原油	1.4
		不動産賃貸業	1.5	航空輸送	3.4	炭素・黒鉛製品	2.6	下水道	1.4
		建設補修	1.3	他無機化学工業製品	3.3	他非鉄金属地金	2.5	配管工事付属品・粉末冶金製品・道具類	1.4
		バス	0.9	廃棄物処理(産業)	3.2	非鉄金属鉱物	2.4	企業内研究開発	1.3
		廃棄物処理(公営)	0.6	洋紙・和紙	3.1	石灰石	2.2	バス	1.2
		下水道	0.5	卸売	3.0	他無機化学工業製品	2.1	板紙	1.1
		圧縮ガス・液化ガス	0.5	石灰石	2.9	ハイヤー・タクシー	1.8	パルプ	1.1
		鉄道旅客輸送	0.4	企業内研究開発	2.0	アルミニウム	1.7	ソーダ工業製品	0.9
		他無機化学工業製品	0.4	港湾運送	1.7	卸売	1.7	卸売	0.9
		石けん・合成洗剤・界面活性剤	0.4	石炭	1.6	企業内研究開発	1.6	他教育訓練機関(産業)	0.8
		他対事業所サービス	0.4	ハイヤー・タクシー	1.5	石炭	1.6	熱間圧延鋼材	0.8
		研磨材	0.3	原油	1.4	コールタール製品	1.4	不動産賃貸業	0.7
		金融	0.3	建設補修	1.0	原油	1.4	銑鉄	0.7
		他ゴム製品	0.3	他対事業所サービス	0.8	板紙	1.3	鋳鉄品及び鍛工品	0.7
		対企業民間非営利団体	0.3	他非金属鉱物	0.8	ソーダ工業製品	1.1	他非鉄金属地金	0.7
		工業用水	0.3	不動産賃貸業	0.6	建設補修	0.9	プラスチック製品	0.6
		熱供給業	0.3	ソーダ工業製品	0.6	圧縮ガス・液化ガス	0.9	他対事業所サービス	0.6
		小売	0.3	石けん・合成洗剤・界面活性剤	0.6	他対事業所サービス	0.8	アルミニウム	0.6
		情報サービス	0.3	都市ガス	0.5	不動産賃貸業	0.7	脂肪族中間物	0.6
		不動産仲介・管理業	0.2	天然ガス	0.5	パルプ	0.7	廃棄物処理(公営)	0.6
		広告	0.2	非鉄金属鉱物	0.4	熱間圧延鋼材	0.6	石油化学基礎製品	0.6
		法務・財務・会計サービス	0.2	板紙	0.4	廃棄物処理(公営)	0.6	粗鋼(転炉)	0.6
		物品賃貸業(除貸自動車)	0.2	バス	0.4	天然ガス	0.5	建設補修	0.6
		機械修理	0.2	廃棄物処理(公営)	0.4	バス	0.5	コールタール製品	0.6
		こん包	0.2	情報サービス	0.4	合成ゴム	0.4	火薬類	0.5
		硫酸	0.1	鉄鉱石	0.4	対企業民間非営利団体	0.4	他化学最終製品	0.5
		道路輸送施設提供	0.1	合成ゴム	0.4	鋳鉄品及び鍛工品	0.4	フェロアロイ	0.5
		水運付帯サービス(公営)	0.1	セメント	0.4	脂肪族中間物	0.4	熱可塑性樹脂	0.5
		港湾運送	0.1	研磨材	0.3	下水道	0.4	鉄鉱石	0.5
		天然ガス	0.1	機械修理	0.3	他非金属鉱物	0.4	冷間仕上鋼材	0.5
		洋紙・和紙	0.1	小売	0.3	熱可塑性樹脂	0.4	合成ゴム	0.4
		衣服	0.1	下水道	0.3	情報サービス	0.4	環式中間物	0.4
		他化学最終製品	0.1	他ゴム製品	0.3	他化学最終製品	0.4	天然ガス	0.4
		その他計	1.8	その他計	9.5	その他計	12.4	その他計	12.4
合計	1496.5	合計	3277.3	合計	9951.1	合計	4593.1	合計	1045.1
累積	1496.5	累積	4773.8	累積	14724.8	累積	19317.9	累積	20363.1

注1）上位50位かつ排出量10t-CO_2以上の財について表示.
注2）国内および海外でのマテリアル生産からのCO_2排出は含まれているが，外洋輸送からのCO_2排出は含まれていない.

表 20: （続）架台からのCO_2排出量

(単位：100t-CO_2)

間接5次効果		間接6次効果		間接7次効果		間接8次効果		直接間接合計	
自家発電	201.0	自家発電	36.8	事業用発電	16.5	事業用発電	9.6	銑鉄	7675.5
事業用発電	87.5	事業用発電	32.6	自家発電	11.7	石炭製品	6.9	石炭製品	4176.9
石炭製品	63.2	石炭製品	17.5	銑鉄	10.7	銑鉄	6.7	事業用発電	2430.0
自家貨物輸送	18.4	石油製品	5.7	石炭製品	6.7	自家発電	6.2	熱間圧延鋼材	1362.3
石油製品	10.4	銑鉄	4.4	洋紙・和紙	2.3	洋紙・和紙	1.2	自家発電	1340.7
自家旅客輸送	8.2	自家貨物輸送	4.3	石油製品	2.3	石油製品	1.2	粗鋼(転炉)	1302.3
セメント	6.3	洋紙・和紙	3.8	自家旅客輸送	1.6	自家貨物輸送	0.8	フェロアロイ	860.0
洋紙・和紙	4.7	自家旅客輸送	3.6	自家貨物輸送	1.6	自家旅客輸送	0.8	粗鋼(電気炉)	668.7
沿海・内水面輸送	4.6	セメント	2.5	フェロアロイ	1.2	フェロアロイ	0.8	他窯業・土石製品	187.4
道路貨物輸送	4.0	道路貨物輸送	2.0	粗鋼(転炉)	1.1	粗鋼(転炉)	0.7	道路貨物輸送	132.8
分類不明	3.3	沿海・内水面輸送	2.0	セメント	1.1	石油化学基礎製品	0.6	鉄鉱石	125.4
銑鉄	2.8	粗鋼(転炉)	1.8	道路貨物輸送	1.1	道路貨物輸送	0.6	自家貨物輸送	112.1
廃棄物処理(産業)	2.5	分類不明	1.3	石油化学基礎製品	0.9	セメント	0.5	沿海・内水面輸送	109.7
航空輸送	2.3	廃棄物処理(産業)	1.3	沿海・内水面輸送	0.8	他窯業・土石製品	0.5	自家旅客輸送	87.6
石炭	2.2	航空輸送	1.2	他窯業・土石製品	0.8	パルプ	0.5	石油製品	87.0
熱間圧延鋼材	1.9	熱間圧延鋼材	1.2	パルプ	0.8	沿海・内水面輸送	0.4	分類不明	42.3
他窯業・土石製品	1.7	石油化学基礎製品	1.1	熱間圧延鋼材	0.7	熱間圧延鋼材	0.4	航空輸送	26.0
原油	1.7	他窯業・土石製品	1.1	航空輸送	0.6	粗鋼(電気炉)	0.4	洋紙・和紙	25.6
熱可塑性樹脂	1.4	パルプ	1.0	分類不明	0.6	脂肪族中間物	0.3	炭素・黒鉛製品	23.6
ハイヤー・タクシー	1.2	粗鋼(電気炉)	1.0	粗鋼(電気炉)	0.6	航空輸送	0.3	廃棄物処理(産業)	23.4
パルプ	1.0	板紙	0.8	板紙	0.6	分類不明	0.3	セメント	22.6
板紙	0.9	原油	0.7	廃棄物処理(産業)	0.5	ソーダ工業製品	0.3	石炭	21.9
企業内研究開発	0.8	熱可塑性樹脂	0.7	脂肪族中間物	0.5	板紙	0.3	卸売	18.6
粗鋼(転炉)	0.8	脂肪族中間物	0.7	ソーダ工業製品	0.4	廃棄物処理(産業)	0.3	港湾運送	14.2
鋳鉄品及び鍛工品	0.8	冷間仕上鋼材	0.6	冷間仕上鋼材	0.4	石油化学系芳香族製品	0.2	ハイヤー・タクシー	11.7
脂肪族中間物	0.7	環式中間物	0.6	熱可塑性樹脂	0.4	環式中間物	0.2	アルミニウム	11.2
石油化学基礎製品	0.7	フェロアロイ	0.5	原油	0.4	熱可塑性樹脂	0.2	企業内研究開発	10.6
ソーダ工業製品	0.6	ハイヤー・タクシー	0.5	環式中間物	0.4	冷間仕上鋼材	0.2	他非鉄金属地金	9.7
冷間仕上鋼材	0.6	ソーダ工業製品	0.5	石油化学系芳香族製品	0.3	他無機化学工業製品	0.2	原油	7.4
不動産賃貸業	0.5	鋳鉄品及び鍛工品	0.5	鋳鉄品及び鍛工品	0.3	鋳鉄品及び鍛工品	0.2	他無機化学工業製品	7.3
卸売	0.5	他無機化学工業製品	0.4	他無機化学工業製品	0.3	アルミニウム	0.2	板紙	5.8
廃棄物処理(公営)	0.5	アルミニウム	0.4	アルミニウム	0.3	鉄鉱石	0.2	パルプ	5.6
他対事業所サービス	0.5	企業内研究開発	0.4	ハイヤー・タクシー	0.3	原油	0.2	石灰石	5.3
他非鉄金属地金	0.5	石炭	0.4	他非鉄金属地金	0.2	他非鉄金属地金	0.1	石油化学基礎製品	5.0
粗鋼(電気炉)	0.4	合成ゴム	0.3	合成ゴム	0.2	ハイヤー・タクシー	0.1	ソーダ工業製品	4.9
環式中間物	0.4	他非鉄金属地金	0.3	亜鉛	0.2	亜鉛	0.1	圧縮ガス・液化ガス	4.9
フェロアロイ	0.4	石油化学系芳香族製品	0.3	企業内研究開発	0.2	企業内研究開発	0.1	不動産賃貸業	4.5
鋼管	0.4	他対事業所サービス	0.3	他対事業所サービス	0.1	その他計	2.5	建設補修	4.3
アルミニウム	0.4	卸売	0.3	卸売	0.1			都市ガス	4.3
バス	0.4	亜鉛	0.3	他合成樹脂	0.1			熱可塑性樹脂	4.0
他合成樹脂	0.4	他合成樹脂	0.2	染色整理	0.1			脂肪族中間物	3.9
港湾運送	0.4	不動産賃貸業	0.2	めっき鋼材	0.1			バス	3.7
他無機化学工業製品	0.3	めっき鋼材	0.2	石炭	0.1			他対事業所サービス	3.7
プラスチック製品	0.3	染色整理	0.2	プラスチック製品	0.1			非鉄金属鉱物	3.4
石油化学系芳香族製品	0.3	プラスチック製品	0.2	その他計	3.7			鋳鉄品及び鍛工品	3.3
建設補修	0.3	廃棄物処理(公営)	0.2					下水道	3.1
小売	0.3	バス	0.2					冷間仕上鋼材	3.0
他金属製品	0.3	板・安全ガラス	0.1					廃棄物処理(公営)	2.9
合成ゴム	0.3	建設補修	0.1					環式中間物	2.7
天然ガス	0.3	小売	0.1					コールタール製品	2.2
その他計	9.9	その他計	5.8					その他計	76.5
合計	453.7	合計	143.3	合計	74.4	合計	45.4	合計	21091.6
累積	20816.8	累積	20960.1	累積	21034.5	累積	21080.0	累積	21091.6

表 21: 電気設備からのCO_2排出量

(単位：100t-CO_2)

直接効果		間接1次効果		間接2次効果		間接3次効果		間接4次効果	
開閉制御装置及び配電盤	42.9	事業用発電	78.3	事業用発電	107.1	事業用発電	59.9	銑鉄	72.4
道路貨物輸送	14.7	他窯業・土石製品	34.0	石炭製品	20.2	自家発電	23.5	事業用発電	41.7
卸売	10.7	鋳鉄品及び鍛工品	30.8	熱間圧延鋼材	12.7	銑鉄	17.3	自家発電	23.1
沿海・内水面輸送	1.1	石油製品	16.2	自家発電	9.5	石炭製品	15.4	石炭製品	14.4
航空輸送	0.8	冷間仕上鋼材	15.6	他窯業・土石製品	8.8	粗鋼(転炉)	12.2	フェロアロイ	8.0
その他計	0.2	自家旅客輸送	15.4	自家旅客輸送	7.9	洋紙・和紙	6.9	自家貨物輸送	5.8
		分類不明	14.9	他非鉄金属地金	7.9	粗鋼(電気炉)	6.4	石油製品	3.8
		自家貨物輸送	11.9	石油製品	7.6	自家旅客輸送	4.6	粗鋼(転炉)	3.8
		道路貨物輸送	11.3	洋紙・和紙	7.5	自家貨物輸送	4.6	洋紙・和紙	3.7
		企業内研究開発	8.4	銑鉄	6.8	石油製品	4.4	石油化学基礎製品	2.7
		鋳鍛鋼	8.4	道路貨物輸送	6.5	熱間圧延鋼材	3.9	自家旅客輸送	2.7
		航空輸送	7.2	熱可塑性樹脂	5.5	道路貨物輸送	3.5	他窯業・土石製品	2.3
		廃棄物処理(産業)	5.9	銅	5.4	石油化学基礎製品	3.5	道路貨物輸送	2.0
		陶磁器	4.4	自家貨物輸送	5.3	板紙	3.4	セメント	2.0
		沿海・内水面輸送	4.1	冷間仕上鋼材	5.0	他非鉄金属地金	3.1	粗鋼(電気炉)	2.0
		他非鉄金属地金	3.9	分類不明	4.8	他窯業・土石製品	2.8	パルプ	1.7
		ハイヤー・タクシー	3.3	亜鉛	4.1	熱可塑性樹脂	2.7	板紙	1.4
		鉛	2.9	沿海・内水面輸送	3.9	フェロアロイ	2.4	脂肪族中間物	1.4
		他軽電機器	2.7	航空輸送	3.6	沿海・内水面輸送	2.3	熱間圧延鋼材	1.4
		開閉制御装置及び配電盤	2.7	アルミニウム	3.4	分類不明	2.2	沿海・内水面輸送	1.4
		卸売	2.5	鋳鉄品及び鍛工品	3.2	環式中間物	2.1	環式中間物	1.2
		伸銅品	2.3	廃棄物処理(産業)	2.7	アルミニウム	2.0	分類不明	1.1
		非鉄金属鋳鍛造品	2.3	粗鋼(電気炉)	2.5	航空輸送	1.9	熱可塑性樹脂	1.1
		プラスチック製品	2.1	粗鋼(転炉)	2.4	セメント	1.9	石油化学系芳香族製品	1.1
		熱間圧延鋼材	2.0	企業内研究開発	2.2	脂肪族中間物	1.9	航空輸送	1.1
		他金属製品	1.4	脂肪族中間物	1.5	冷間仕上鋼材	1.8	他非鉄金属地金	1.1
		ボルト・ナット・リベット及びスプリング	1.3	環式中間物	1.5	銅	1.5	ソーダ工業製品	1.0
		電線・ケーブル	1.3	ハイヤー・タクシー	1.4	亜鉛	1.5	アルミニウム	0.9
		廃棄物処理(公営)	1.2	他無機化学工業製品	1.3	パルプ	1.4	廃棄物処理(産業)	0.8
		他非鉄金属製品	1.1	他合成樹脂	1.3	廃棄物処理(産業)	1.4	他無機化学工業製品	0.7
		半導体素子・集積回路	1.1	鉛	1.1	非鉄金属鉱物	1.2	冷間仕上鋼材	0.6
		熱硬化性樹脂	1.0	原油	1.1	ソーダ工業製品	1.1	亜鉛	0.5
		不動産賃貸業	1.0	プラスチック製品	1.1	他無機化学工業製品	1.0	非鉄金属鉱物	0.4
		鋼管	0.9	卸売	1.1	石油化学系芳香族製品	0.9	ハイヤー・タクシー	0.4
		バス	0.9	陶磁器	0.9	企業内研究開発	0.8	企業内研究開発	0.4
		他対事業所サービス	0.9	鋳鍛鋼	0.9	ハイヤー・タクシー	0.7	銅	0.3
		塗工紙・建設用加工紙	0.8	めっき鋼材	0.9	他合成樹脂	0.6	原油	0.3
		他教育訓練機関(産業)	0.8	板紙	0.8	原油	0.6	他合成樹脂	0.3
		他電子・通信機器部分品	0.8	合成ゴム	0.7	鋳鉄品及び鍛工品	0.6	鉄鉱石	0.3
		熱可塑性樹脂	0.8	他対事業所サービス	0.7	卸売	0.5	鋳鉄品及び鍛工品	0.3
		他鉄鋼製品	0.8	ソーダ工業製品	0.7	鉛	0.5	卸売	0.3
		自然科学研究機関(産業)	0.7	セメント	0.7	プラスチック製品	0.5	炭素・黒鉛製品	0.3
		高機能性樹脂	0.6	熱硬化性樹脂	0.6	合成ゴム	0.5	アンモニア	0.2
		配線器具	0.5	不動産賃貸業	0.6	他対事業所サービス	0.4	合成ゴム	0.2
		他合成樹脂	0.5	塗工紙・建設用加工紙	0.5	染色整理	0.4	他対事業所サービス	0.2
		建設補修	0.5	他軽電機器	0.5	港湾運送	0.3	プラスチック製品	0.2
		金属製容器及び製缶板金製品	0.5	伸銅品	0.5	めっき鋼材	0.3	他有機化学工業製品	0.2
		機械工具	0.5	廃棄物処理(公営)	0.5	不動産賃貸業	0.3	染色整理	0.2
		他ゴム製品	0.5	非鉄金属鋳鍛造品	0.5	熱硬化性樹脂	0.3	塩	0.2
		情報サービス	0.4	他電子・通信機器部分品	0.5	メタン誘導品	0.3	港湾運送	0.2
		その他計	9.8	その他計	17.8	その他計	9.9	その他計	5.5
合計	70.3	合計	324.4	合計	296.4	合計	224.0	合計	219.1
累積	70.3	累積	394.7	累積	691.1	累積	915.1	累積	1134.1

注1）上位50位かつ排出量10t-CO_2以上の財について表示.

注2）国内および海外でのマテリアル生産からのCO_2排出は含まれているが，外洋輸送からのCO_2排出は含まれていない.

表 21: （続）電気設備からのCO_2排出量

（単位：100t-CO_2）

間接5次効果		間接6次効果		間接7次効果		間接8次効果		直接間接合計	
石炭製品	36.2	石炭製品	15.6	事業用発電	6.5	事業用発電	3.2	事業用発電	337.4
事業用発電	23.8	事業用発電	13.6	石炭製品	6.2	石炭製品	2.5	銑鉄	128.8
銑鉄	22.1	銑鉄	7.8	自家発電	5.0	自家発電	2.4	石炭製品	112.9
自家発電	14.2	自家発電	7.0	銑鉄	2.9	銑鉄	1.4	自家発電	87.2
石油製品	2.9	石油製品	1.7	石油製品	0.9	石油製品	0.5	他窯業・土石製品	50.3
フェロアロイ	2.6	自家貨物輸送	1.4	自家貨物輸送	0.7	自家貨物輸送	0.3	開閉制御装置及び配電盤	45.8
自家貨物輸送	2.6	洋紙・和紙	1.0	洋紙・和紙	0.5	洋紙・和紙	0.3	道路貨物輸送	40.5
洋紙・和紙	1.8	フェロアロイ	0.9	自家旅客輸送	0.5	自家旅客輸送	0.3	石油製品	38.6
石油化学基礎製品	1.6	石油化学基礎製品	0.9	石油化学基礎製品	0.4	石油化学基礎製品	0.2	鋳鉄品及び鍛工品	35.3
自家旅客輸送	1.5	自家旅客輸送	0.9	道路貨物輸送	0.3	道路貨物輸送	0.2	自家旅客輸送	34.1
粗鋼(転炉)	1.3	道路貨物輸送	0.6	フェロアロイ	0.3	フェロアロイ	0.2	自家貨物輸送	32.9
他窯業・土石製品	1.3	他窯業・土石製品	0.5	セメント	0.3	セメント	0.2	分類不明	24.4
鉄鉱石	1.2	沿海・内水面輸送	0.5	沿海・内水面輸送	0.3	沿海・内水面輸送	0.1	冷間仕上鋼材	23.5
道路貨物輸送	1.2	セメント	0.5	他窯業・土石製品	0.2	粗鋼(転炉)	0.1	洋紙・和紙	22.1
セメント	1.0	粗鋼(転炉)	0.5	脂肪族中間物	0.2	他窯業・土石製品	0.1	熱間圧延鋼材	21.0
沿海・内水面輸送	0.9	脂肪族中間物	0.4	粗鋼(転炉)	0.2	脂肪族中間物	0.1	粗鋼(転炉)	20.7
パルプ	0.8	パルプ	0.4	パルプ	0.2	パルプ	0.1	他非鉄金属地金	16.6
脂肪族中間物	0.8	石油化学系芳香族製品	0.4	分類不明	0.2	その他計	1.9	航空輸送	15.8
石油化学系芳香族製品	0.7	ソーダ工業製品	0.4	ソーダ工業製品	0.2			卸売	15.4
粗鋼(電気炉)	0.7	鉄鉱石	0.4	石油化学系芳香族製品	0.2			フェロアロイ	15.0
ソーダ工業製品	0.7	分類不明	0.3	航空輸送	0.2			沿海・内水面輸送	14.8
分類不明	0.6	航空輸送	0.3	廃棄物処理(産業)	0.2			企業内研究開発	12.2
板紙	0.6	廃棄物処理(産業)	0.3	板紙	0.1			粗鋼(電気炉)	12.1
環式中間物	0.6	板紙	0.3	熱間圧延鋼材	0.1			廃棄物処理(産業)	12.0
航空輸送	0.6	環式中間物	0.3	鉄鉱石	0.1			熱可塑性樹脂	10.9
廃棄物処理(産業)	0.5	粗鋼(電気炉)	0.3	環式中間物	0.1			石油化学基礎製品	10.1
熱間圧延鋼材	0.5	熱間圧延鋼材	0.2	原油	0.1			鋳鍛鋼	9.7
熱可塑性樹脂	0.5	熱可塑性樹脂	0.2	粗鋼(電気炉)	0.1			銅	7.5
他無機化学工業製品	0.4	原油	0.2	熱可塑性樹脂	0.1			アルミニウム	7.0
他非鉄金属地金	0.4	他無機化学工業製品	0.2	その他計	1.9			板紙	6.7
アルミニウム	0.4	石炭	0.2					セメント	6.7
原油	0.3	アルミニウム	0.2					脂肪族中間物	6.6
冷間仕上鋼材	0.2	他非鉄金属地金	0.1					ハイヤー・タクシー	6.4
ハイヤー・タクシー	0.2	ハイヤー・タクシー	0.1					亜鉛	6.3
企業内研究開発	0.2	冷間仕上鋼材	0.1					環式中間物	5.9
鋳鉄品及び鍛工品	0.2	塩	0.1					陶磁器	5.7
亜鉛	0.2	企業内研究開発	0.1					パルプ	5.0
塩	0.2	鋳鉄品及び鍛工品	0.1					鉛	4.8
非鉄金属鉱物	0.1	その他計	2.4					ソーダ工業製品	4.4
卸売	0.1							プラスチック製品	4.1
他合成樹脂	0.1							他無機化学工業製品	4.1
アンモニア	0.1							石油化学系芳香族製品	3.8
合成ゴム	0.1							他軽電機器	3.3
他対事業所サービス	0.1							他合成樹脂	3.0
炭素・黒鉛製品	0.1							伸銅品	3.0
他有機化学工業製品	0.1							非鉄金属鋳鍛造品	3.0
港湾運送	0.1							原油	2.8
その他計	3.3							他対事業所サービス	2.5
								廃棄物処理(公営)	2.2
								不動産賃貸業	2.2
								その他計	74.3
合計	130.6	合計	61.5	合計	29.6	合計	14.1	合計	1381.2
累積	1264.7	累積	1326.2	累積	1355.8	累積	1369.8	累積	1381.2

表 22: 建設・設置工事からのCO_2排出量

(単位：100t-CO_2)

直接効果		間接1次効果		間接2次効果		間接3次効果		間接4次効果	
事業用発電	218.5	セメント	1099.3	事業用発電	184.7	銑鉄	232.7	石炭製品	118.2
自家旅客輸送	154.1	事業用発電	216.7	銑鉄	110.2	事業用発電	133.6	銑鉄	75.7
自家貨物輸送	118.0	銅	63.8	自家発電	92.6	自家発電	71.0	事業用発電	69.9
陶磁器	83.2	自家貨物輸送	63.1	自家貨物輸送	43.6	石炭製品	66.5	自家発電	37.5
道路貨物輸送	61.6	熱間圧延鋼材	40.6	粗鋼(転炉)	39.3	自家貨物輸送	28.3	フェロアロイ	8.9
分類不明	33.9	石油製品	38.1	石炭製品	32.6	フェロアロイ	26.0	石油製品	8.7
電線・ケーブル	25.5	他窯業・土石製品	35.3	粗鋼(電気炉)	20.7	石油製品	13.0	自家貨物輸送	6.4
他窯業・土石製品	25.4	道路貨物輸送	32.1	石油製品	17.6	粗鋼(転炉)	12.9	粗鋼(転炉)	6.3
生コンクリート	19.9	沿海・内水面輸送	27.0	熱間圧延鋼材	13.4	自家旅客輸送	8.8	洋紙・和紙	4.6
熱間圧延鋼材	18.4	自家旅客輸送	25.8	自家旅客輸送	12.7	セメント	8.0	自家旅客輸送	4.2
沿海・内水面輸送	16.0	鋳鉄品及び鍛工品	23.8	フェロアロイ	11.8	洋紙・和紙	7.6	他窯業・土石製品	4.0
廃棄物処理(産業)	15.2	熱可塑性樹脂	21.9	他窯業・土石製品	11.1	他窯業・土石製品	7.1	鉄鉱石	3.8
建設用金属製品	14.6	石炭製品	19.2	道路貨物輸送	10.8	粗鋼(電気炉)	6.6	石油化学基礎製品	3.8
冷間仕上鋼材	13.1	粗鋼(転炉)	17.7	石油化学基礎製品	10.2	熱間圧延鋼材	6.6	粗鋼(電気炉)	3.3
鋼管	10.3	航空輸送	17.0	セメント	9.6	石油化学基礎製品	6.4	道路貨物輸送	3.2
卸売	7.5	自家発電	12.3	冷間仕上鋼材	9.5	道路貨物輸送	5.4	沿海・内水面輸送	3.0
土木建築サービス	6.7	分類不明	11.3	洋紙・和紙	9.4	沿海・内水面輸送	4.8	セメント	2.6
石油製品	6.3	粗鋼(電気炉)	9.2	沿海・内水面輸送	9.2	板紙	4.0	脂肪族中間物	2.0
鋳鉄管	6.1	アルミニウム	8.8	熱可塑性樹脂	6.6	脂肪族中間物	3.2	パルプ	1.9
めっき鋼材	4.4	洋紙・和紙	8.6	アルミニウム	6.6	分類不明	3.1	熱間圧延鋼材	1.9
舗装材料	4.2	冷間仕上鋼材	5.3	分類不明	6.2	航空輸送	3.1	分類不明	1.8
航空輸送	3.9	廃棄物処理(産業)	5.1	非鉄金属鉱物	6.0	環式中間物	2.9	石油化学系芳香族製品	1.7
ハイヤー・タクシー	3.0	他非鉄金属地金	4.9	航空輸送	4.8	廃棄物処理(産業)	2.7	廃棄物処理(産業)	1.6
他無機化学工業製品	2.9	ハイヤー・タクシー	4.8	環式中間物	4.7	冷間仕上鋼材	2.4	航空輸送	1.5
物品賃貸業(除貸自動車)	2.4	陶磁器	3.9	銅	4.3	アルミニウム	2.4	ソーダ工業製品	1.5
他製造工業製品	2.2	鋼管	3.6	脂肪族中間物	3.8	熱可塑性樹脂	2.3	板紙	1.4
砕石	2.1	企業内研究開発	3.6	他非鉄金属地金	3.8	石油化学系芳香族製品	2.2	環式中間物	1.3
プラスチック製品	2.0	亜鉛	3.5	廃棄物処理(産業)	3.1	ソーダ工業製品	2.1	熱可塑性樹脂	1.0
他建設用土石製品	1.9	合成ゴム	3.4	原油	2.7	パルプ	2.0	他無機化学工業製品	1.0
他金属製品	1.7	鋳鍛鋼	3.2	亜鉛	2.5	他非鉄金属地金	1.9	原油	1.0
電気照明器具	1.6	プラスチック製品	2.9	他無機化学工業製品	2.4	鉄鉱石	1.8	アルミニウム	0.9
他ゴム製品	1.4	卸売	2.9	板紙	2.2	亜鉛	1.7	他非鉄金属地金	0.8
小売	1.2	めっき鋼材	2.7	めっき鋼材	2.1	他無機化学工業製品	1.5	鋳鉄品及び鍛工品	0.7
バス	1.0	砂利・採石	2.3	ハイヤー・タクシー	2.0	原油	1.3	冷間仕上鋼材	0.7
ポンプ及び圧縮機	0.9	他無機化学工業製品	2.3	ソーダ工業製品	1.9	鋳鉄品及び鍛工品	1.2	ハイヤー・タクシー	0.6
砂利・採石	0.9	ガラス繊維・同製品	2.2	他合成樹脂	1.9	ハイヤー・タクシー	1.2	企業内研究開発	0.5
鋳鍛鋼	0.9	ソーダ工業製品	1.8	石灰石	1.8	企業内研究開発	1.1	亜鉛	0.4
不動産賃貸業	0.8	他鉄鋼製品	1.8	パルプ	1.7	合成ゴム	0.9	合成ゴム	0.4
ボルト・ナット・リベット及びスプリング	0.7	鉛	1.7	卸売	1.5	炭素・黒鉛製品	0.8	卸売	0.4
アルミ圧延製品	0.7	可塑剤	1.6	鋳鉄品及び鍛工品	1.4	非鉄金属鉱物	0.8	石炭	0.4
他対事業所サービス	0.6	ボルト・ナット・リベット及びスプリング	1.6	企業内研究開発	1.4	卸売	0.7	炭素・黒鉛製品	0.3
熱供給業	0.5	炭素・黒鉛製品	1.5	港湾運送	1.3	他合成樹脂	0.7	塩	0.3
港湾運送	0.5	アルミ圧延製品	1.5	合成ゴム	1.1	他有機化学工業製品	0.6	他合成樹脂	0.3
情報サービス	0.5	砕石	1.5	プラスチック製品	1.0	他対事業所サービス	0.6	アンモニア	0.3
配管工事付属品・粉末冶金製品・道具類	0.4	バス	1.4	他対事業所サービス	1.0	アンモニア	0.5	他対事業所サービス	0.3
都市ガス	0.4	他対事業所サービス	1.4	染色整理	0.9	染色整理	0.5	非鉄金属鉱物	0.3
企業内研究開発	0.4	他金属製品	1.3	他ガラス製品	0.8	廃棄物処理(公営)	0.5	港湾運送	0.3
板・安全ガラス	0.4	不動産賃貸業	1.3	不動産賃貸業	0.8	不動産賃貸業	0.5	他有機化学工業製品	0.3
建設補修	0.3	小売	1.2	石油化学系芳香族製品	0.7	プラスチック製品	0.5	染色整理	0.3
鉄道旅客輸送	0.3	都市ガス	1.2	熱硬化性樹脂	0.7	銅	0.5	プラスチック製品	0.2
その他計	5.1	その他計	35.1	その他計	25.7	その他計	15.3	その他計	8.4
合計	904.6	合計	1904.1	合計	758.3	合計	712.8	合計	401.2
累積	904.6	累積	2808.7	累積	3566.9	累積	4279.8	累積	4681.0

注1）上位50位かつ排出量10t-CO_2以上の財について表示.
注2）国内および海外でのマテリアル生産からのCO_2排出は含まれているが，外洋輸送からのCO_2排出は含まれていない.

表 22: （続）建設・設置工事からのCO_2排出量

（単位：100t-CO_2）

間接5次効果		間接6次効果		間接7次効果		間接8次効果		直接間接合計	
石炭製品	51.7	石炭製品	25.0	事業用発電	10.0	事業用発電	4.9	セメント	1122.9
事業用発電	41.4	事業用発電	20.4	石炭製品	9.2	自家発電	3.7	事業用発電	905.5
銑鉄	37.5	自家発電	15.5	自家発電	7.3	石炭製品	3.7	銑鉄	473.4
自家発電	21.6	銑鉄	10.9	銑鉄	4.1	銑鉄	2.5	石炭製品	330.3
石油製品	4.5	石油製品	2.5	石油製品	1.3	石油製品	0.7	自家貨物輸送	267.3
フェロアロイ	4.3	自家貨物輸送	2.1	自家貨物輸送	1.0	自家貨物輸送	0.5	自家発電	265.3
自家貨物輸送	3.8	洋紙・和紙	1.5	洋紙・和紙	0.8	洋紙・和紙	0.5	自家旅客輸送	211.1
洋紙・和紙	2.6	自家旅客輸送	1.4	自家旅客輸送	0.8	自家旅客輸送	0.4	道路貨物輸送	117.0
自家旅客輸送	2.5	フェロアロイ	1.3	石油化学基礎製品	0.6	石油化学基礎製品	0.3	石油製品	93.5
石油化学基礎製品	2.1	石油化学基礎製品	1.1	道路貨物輸送	0.5	フェロアロイ	0.3	陶磁器	87.6
他窯業・土石製品	1.9	道路貨物輸送	1.0	フェロアロイ	0.5	道路貨物輸送	0.3	他窯業・土石製品	86.6
粗鋼(転炉)	1.8	セメント	0.9	セメント	0.5	粗鋼(転炉)	0.2	熱間圧延鋼材	82.7
道路貨物輸送	1.8	他窯業・土石製品	0.9	沿海・内水面輸送	0.4	セメント	0.2	粗鋼(転炉)	79.6
沿海・内水面輸送	1.6	沿海・内水面輸送	0.8	粗鋼(転炉)	0.4	沿海・内水面輸送	0.2	銅	68.8
セメント	1.4	粗鋼(転炉)	0.7	他窯業・土石製品	0.4	他窯業・土石製品	0.2	沿海・内水面輸送	63.3
鉄鉱石	1.2	鉄鉱石	0.6	脂肪族中間物	0.3	脂肪族中間物	0.2	分類不明	58.5
脂肪族中間物	1.1	脂肪族中間物	0.6	パルプ	0.3	パルプ	0.2	フェロアロイ	53.4
分類不明	1.0	分類不明	0.6	分類不明	0.3	分類不明	0.2	粗鋼(電気炉)	41.7
パルプ	1.0	パルプ	0.6	航空輸送	0.3	熱間圧延鋼材	0.1	洋紙・和紙	36.2
航空輸送	1.0	航空輸送	0.5	ソーダ工業製品	0.3	航空輸送	0.1	熱可塑性樹脂	33.1
粗鋼(電気炉)	1.0	廃棄物処理(産業)	0.5	廃棄物処理(産業)	0.3	ソーダ工業製品	0.1	航空輸送	32.4
石油化学系芳香族製品	0.9	ソーダ工業製品	0.5	熱間圧延鋼材	0.3	廃棄物処理(産業)	0.1	冷間仕上鋼材	31.9
ソーダ工業製品	0.9	石油化学系芳香族製品	0.5	石油化学系芳香族製品	0.2	粗鋼(電気炉)	0.1	廃棄物処理(産業)	29.5
廃棄物処理(産業)	0.9	熱間圧延鋼材	0.4	粗鋼(電気炉)	0.2	石油化学系芳香族製品	0.1	鋳鉄品及び鍛工品	28.1
熱間圧延鋼材	0.7	板紙	0.4	板紙	0.2	板紙	0.1	電線・ケーブル	26.4
板紙	0.7	粗鋼(電気炉)	0.4	環式中間物	0.2	環式中間物	0.1	石油化学基礎製品	25.1
原油	0.6	環式中間物	0.3	熱可塑性樹脂	0.2	その他計	1.9	生コンクリート	20.0
環式中間物	0.6	原油	0.3	原油	0.2			アルミニウム	19.7
石炭	0.6	熱可塑性樹脂	0.3	鉄鉱石	0.2			鋼管	14.8
熱可塑性樹脂	0.5	石炭	0.3	他無機化学工業製品	0.1			建設用金属製品	14.8
他無機化学工業製品	0.5	他無機化学工業製品	0.3	鋳鉄品及び鍛工品	0.1			卸売	13.5
アルミニウム	0.5	鋳鉄品及び鍛工品	0.3	冷間仕上鋼材	0.1			ハイヤー・タクシー	12.3
鋳鉄品及び鍛工品	0.4	アルミニウム	0.2	アルミニウム	0.1			他非鉄金属地金	12.1
ハイヤー・タクシー	0.4	冷間仕上鋼材	0.2	石炭	0.1			脂肪族中間物	11.8
冷間仕上鋼材	0.4	ハイヤー・タクシー	0.2	ハイヤー・タクシー	0.1			他無機化学工業製品	11.2
他非鉄金属地金	0.4	他非鉄金属地金	0.2	その他計	2.3			環式中間物	10.5
企業内研究開発	0.3	企業内研究開発	0.2					めっき鋼材	10.0
塩	0.2	塩	0.1					板紙	9.7
合成ゴム	0.2	合成ゴム	0.1					ソーダ工業製品	9.3
卸売	0.2	卸売	0.1					亜鉛	8.7
亜鉛	0.2	亜鉛	0.1					パルプ	8.3
他合成樹脂	0.2	他合成樹脂	0.1					鉄鉱石	7.7
他対事業所サービス	0.2	他対事業所サービス	0.1					企業内研究開発	7.7
港湾運送	0.2	その他計	3.2					非鉄金属鉱物	7.4
炭素・黒鉛製品	0.2							土木建築サービス	7.1
プラスチック製品	0.1							プラスチック製品	7.0
不動産賃貸業	0.1							原油	6.8
染色整理	0.1							石油化学系芳香族製品	6.6
他有機化学工業製品	0.1							合成ゴム	6.2
アンモニア	0.1							鋳鉄管	6.2
その他計	4.7							その他計	169.7
合計	203.1	合計	98.0	合計	44.4	合計	22.1	合計	5070.4
累積	4884.1	累積	4982.1	累積	5026.5	累積	5048.6	累積	5070.4

表 23: レクテナ1基あたりのCO_2排出量

(単位：10000t-CO_2)

直接効果		間接1次効果		間接2次効果		間接3次効果		間接4次効果	
熱間圧延鋼材	13.7	事業用発電	79.1	銑鉄	77.6	石炭製品	36.9	事業用発電	15.0
半導体素子・集積回路	11.7	アルミニウム	20.5	事業用発電	46.9	事業用発電	25.7	石炭製品	7.5
アルミ圧延製品	8.0	粗鋼(転炉)	13.1	自家発電	16.8	自家発電	12.6	自家発電	6.5
道路貨物輸送	5.6	セメント	11.0	フェロアロイ	8.5	自家貨物輸送	2.9	銑鉄	2.7
事業用発電	2.2	粗鋼(電気炉)	6.7	アルミニウム	5.1	銑鉄	2.7	自家貨物輸送	2.4
航空輸送	1.7	企業内研究開発	6.1	他非鉄金属地金	4.8	洋紙・和紙	2.3	石油製品	1.4
自家旅客輸送	1.5	自家発電	4.1	石炭製品	3.3	石油製品	1.7	洋紙・和紙	1.2
卸売	1.4	石炭製品	3.4	自家旅客輸送	2.4	他非鉄金属地金	1.7	自家旅客輸送	1.0
自家貨物輸送	1.2	自家旅客輸送	3.2	石油製品	2.2	自家旅客輸送	1.6	セメント	0.8
沿海・内水面輸送	1.2	他非鉄金属地金	2.8	他窯業・土石製品	2.2	アルミニウム	1.4	石油化学基礎製品	0.7
陶磁器	0.8	道路貨物輸送	2.8	洋紙・和紙	2.0	鉄鉱石	1.3	道路貨物輸送	0.6
開閉制御装置及び配電盤	0.4	自家貨物輸送	2.5	道路貨物輸送	2.0	道路貨物輸送	1.1	沿海・内水面輸送	0.5
分類不明	0.3	他軽電機器	1.9	自家貨物輸送	1.8	他窯業・土石製品	1.1	他非鉄金属地金	0.5
電線・ケーブル	0.3	他窯業・土石製品	1.7	ソーダ工業製品	1.5	石油化学基礎製品	0.8	パルプ	0.5
他窯業・土石製品	0.3	石油製品	1.6	分類不明	1.4	沿海・内水面輸送	0.8	アルミニウム	0.4
生コンクリート	0.2	分類不明	1.5	航空輸送	1.1	分類不明	0.8	航空輸送	0.4
廃棄物処理(産業)	0.2	航空輸送	1.4	沿海・内水面輸送	1.1	セメント	0.7	他窯業・土石製品	0.4
建設用金属製品	0.1	脂肪族中間物	1.3	熱可塑性樹脂	0.8	ソーダ工業製品	0.7	粗鋼(転炉)	0.4
冷間仕上鋼材	0.1	他無機化学工業製品	1.3	他無機化学工業製品	0.8	航空輸送	0.7	分類不明	0.4
鋼管	0.1	他電子・通信機器部分品	1.2	廃棄物処理(産業)	0.7	熱可塑性樹脂	0.7	ソーダ工業製品	0.4
その他計	0.8	沿海・内水面輸送	1.1	脂肪族中間物	0.7	フェロアロイ	0.5	脂肪族中間物	0.4
		メタン誘導品	0.8	石油化学基礎製品	0.6	脂肪族中間物	0.5	板紙	0.3
		卸売	0.8	企業内研究開発	0.6	廃棄物処理(産業)	0.5	廃棄物処理(産業)	0.3
		銅	0.6	炭素・黒鉛製品	0.6	非鉄金属鉱物	0.5	フェロアロイ	0.3
		ハイヤー・タクシー	0.6	非鉄金属鉱物	0.5	粗鋼(転炉)	0.5	熱可塑性樹脂	0.3
		鋳鉄品及び鍛工品	0.5	粗鋼(転炉)	0.5	板紙	0.5	環式中間物	0.3
		熱間圧延鋼材	0.5	熱間圧延鋼材	0.5	パルプ	0.4	熱間圧延鋼材	0.2
		鉛	0.5	冷間仕上鋼材	0.4	熱間圧延鋼材	0.4	石油化学系芳香族製品	0.2
		炭素・黒鉛製品	0.4	ハイヤー・タクシー	0.4	銅	0.4	粗鋼(電気炉)	0.2
		熱硬化性樹脂	0.4	板紙	0.4	環式中間物	0.4	石炭	0.2
		冷間仕上鋼材	0.4	他電子・通信機器部分品	0.4	他無機化学工業製品	0.3	非鉄金属鉱物	0.2
		プラスチック製品	0.4	卸売	0.4	企業内研究開発	0.3	他無機化学工業製品	0.2
		廃棄物処理(産業)	0.3	環式中間物	0.3	粗鋼(電気炉)	0.2	ハイヤー・タクシー	0.1
		他ガラス製品	0.3	鉛	0.3	ハイヤー・タクシー	0.2	企業内研究開発	0.1
		半導体素子・集積回路	0.3	亜鉛	0.3	亜鉛	0.2	原油	0.1
		ソーダ工業製品	0.3	合成ゴム	0.3	塩	0.2	冷間仕上鋼材	0.1
		アルミ圧延製品	0.2	プラスチック製品	0.3	鉛	0.2	塩	0.1
		他ゴム製品	0.2	粗鋼(電気炉)	0.3	石油化学系芳香族製品	0.2	その他計	2.9
		熱可塑性樹脂	0.2	陶磁器	0.3	冷間仕上鋼材	0.2		
		洋紙・和紙	0.2	他非鉄金属製品	0.3	卸売	0.2		
		都市ガス	0.2	銅	0.3	港湾運送	0.2		
		伸銅品	0.2	不動産賃貸業	0.2	原油	0.2		
		バス	0.2	セメント	0.2	他合成樹脂	0.2		
		不動産賃貸業	0.1	他対事業所サービス	0.2	炭素・黒鉛製品	0.1		
		圧縮ガス・液化ガス	0.1	ガラス繊維・同製品	0.2	プラスチック製品	0.1		
		配管工事付属品・粉末冶金製品・道具類	0.1	他ガラス製品	0.2	鋳鉄品及び鍛工品	0.1		
		写真感光材料	0.1	他合成樹脂	0.2	他対事業所サービス	0.1		
		めっき鋼材	0.1	鋳鉄品及び鍛工品	0.2	他電子・通信機器部分品	0.1		
		鋳鍛鋼	0.1	港湾運送	0.2	合成ゴム	0.1		
		陶磁器	0.1	原油	0.2	陶磁器	0.1		
		その他計	2.6	その他計	4.7	その他計	3.3		
合計	51.6	合計	180.2	合計	197.8	合計	109.4	合計	50.2
累積	51.6	累積	231.8	累積	429.6	累積	539.0	累積	589.2

注1）上位50位かつ排出量1000t-CO_2以上の財について表示.

注2）国内および海外でのマテリアル生産からのCO_2排出は含まれているが，外洋輸送からのCO_2排出は含まれていない.

表 23: （続）レクテナ１基あたりのCO_2排出量

(単位：10000t-CO_2)

間接5次効果		間接6次効果		間接7次効果		間接8次効果		直接間接合計	
事業用発電	6.6	事業用発電	3.2	事業用発電	1.7	事業用発電	0.9	事業用発電	182.3
自家発電	5.4	自家発電	2.1	自家発電	1.1	石炭製品	0.6	銑鉄	87.5
石炭製品	3.0	石炭製品	1.9	石炭製品	1.0	自家発電	0.6	石炭製品	58.4
銑鉄	2.2	銑鉄	1.2	銑鉄	0.8	銑鉄	0.5	自家発電	49.8
自家貨物輸送	1.1	石油製品	0.5	石油製品	0.3	石油製品	0.1	アルミニウム	27.8
石油製品	0.9	自家貨物輸送	0.4	自家貨物輸送	0.2	その他計	1.3	熱間圧延鋼材	15.6
洋紙・和紙	0.6	洋紙・和紙	0.3	洋紙・和紙	0.2			粗鋼(転炉)	14.9
自家旅客輸送	0.5	自家旅客輸送	0.3	自家旅客輸送	0.1			セメント	13.5
石油化学基礎製品	0.4	石油化学基礎製品	0.2	石油化学基礎製品	0.1			道路貨物輸送	12.9
セメント	0.4	道路貨物輸送	0.2	道路貨物輸送	0.1			自家貨物輸送	12.7
道路貨物輸送	0.3	セメント	0.2	その他計	1.7			半導体素子・集積回路	12.0
沿海・内水面輸送	0.3	沿海・内水面輸送	0.2					自家旅客輸送	10.7
フェロアロイ	0.3	粗鋼(転炉)	0.1					他非鉄金属地金	10.0
パルプ	0.3	フェロアロイ	0.1					フェロアロイ	9.9
脂肪族中間物	0.2	パルプ	0.1					石油製品	8.9
他窯業・土石製品	0.2	脂肪族中間物	0.1					アルミ圧延製品	8.4
ソーダ工業製品	0.2	他窯業・土石製品	0.1					粗鋼(電気炉)	7.7
粗鋼(転炉)	0.2	ソーダ工業製品	0.1					企業内研究開発	7.2
分類不明	0.2	分類不明	0.1					洋紙・和紙	6.9
航空輸送	0.2	航空輸送	0.1					他窯業・土石製品	6.2
板紙	0.2	石油化学系芳香族製品	0.1					航空輸送	5.7
廃棄物処理(産業)	0.2	その他計	1.7					沿海・内水面輸送	5.3
石油化学系芳香族製品	0.2							分類不明	4.8
環式中間物	0.2							脂肪族中間物	3.3
アルミニウム	0.2							ソーダ工業製品	3.2
他非鉄金属地金	0.2							石油化学基礎製品	3.1
熱可塑性樹脂	0.1							卸売	2.8
熱間圧延鋼材	0.1							他無機化学工業製品	2.8
粗鋼(電気炉)	0.1							廃棄物処理(産業)	2.3
他無機化学工業製品	0.1							熱可塑性樹脂	2.3
原油	0.1							他軽電機器	2.1
その他計	1.9							他電子・通信機器部分品	1.7
								ハイヤー・タクシー	1.6
								板紙	1.6
								冷間仕上鋼材	1.5
								パルプ	1.4
								鉄鉱石	1.4
								銅	1.4
								陶磁器	1.4
								環式中間物	1.3
								非鉄金属鉱物	1.3
								炭素・黒鉛製品	1.2
								メタン誘導品	1.1
								鋳鉄品及び鍛工品	1.1
								鉛	1.1
								プラスチック製品	0.9
								石油化学系芳香族製品	0.9
								亜鉛	0.8
								原油	0.7
								熱硬化性樹脂	0.7
								その他計	20.7
合計	27.0	合計	13.5	合計	7.2	合計	4.0	合計	644.8
累積	616.3	累積	629.7	累積	637.0	累積	641.0	累積	644.8

5 宇宙輸送機のCO_2負荷

SPSの建設には、二段階に分けて輸送が行われる。まず、地上から低軌道上の建設基地まで資材、人員を輸送する段階がある。このとき使用される宇宙輸送機をLAUNCH VEHICLE（日本語名称で打ち上げロケット）と呼ぶ。貨物を輸送するHEAVY LIFT LAUNCH VEHICLE（略してHLLV、日本語名称で大量打ち上げロケット）と、PERSONNEL LAUNCH VEHICLE（略してPLV、日本語名称で人員打ち上げロケット）がある。次に低軌道上の建設基地から、静止軌道上の太陽発電衛星の建設する位置まで輸送する段階がある。このとき使用される宇宙輸送機をORBITAL TRANSFER VEHICLE（略してOTV、日本語名称で軌道間輸送機）と呼ぶ。貨物を輸送するCARGO ORBITAL TRANSFER VEHICLE（略してCOTV、日本語名称で軌道間貨物輸送機）と、人員を輸送するPERSONNEL ORBITAL TRANSFER VEHICLE（略してPOTV、日本語名称で軌道間人員輸送機）がある。

宇宙輸送機の輸送能力を表24に示した。現在の時点において使用されている宇宙輸送機と比較してみよう。低軌道打ち上げ能力を参考としてみてみると、スペース・シャトルが25MT、タイタンIVが21.9MTである。SPSに使用される大量打ち上げロケットの打ち上げ能力は424MTであるから、スペース・シャトルの約17倍、タイタンIVの約19倍の打ち上げ能力があることになる。また人員の輸送能力でみるならば、スペース・シャトルは7人であり、SPSに使用される人員打ち上げロケットの輸送能力は75人であるから、約100倍の能力があることになる。

表 24: SPSに使用される宇宙輸送機の輸送能力

大量打ち上げロケット	424	MT	低軌道まで打ち上げ
人員打ち上げロケット	75	人	低軌道まで打ち上げ
軌道間貨物輸送機	160	人	低軌道から静止軌道へ輸送
軌道間人員輸送機	4000	MT	低軌道から静止軌道へ輸送

出所： Franz & Cambel[6]p.490,Table 5.

宇宙輸送機からのCO_2負荷には、大きく分けて2つある。まず、宇宙輸送機の機体製造からのCO_2負荷である。例えば、機体に使用される金属の精練には、化石燃料を消費する。化石燃料の燃焼により、CO_2が排出されるのである。次に、宇宙輸送機の推進燃料製造、燃焼からのCO_2負荷である。例えば、推進燃料として使用される水素の製造過程（部分酸化法）でCO_2が排出される。また、SPSの打ち上げロケットにはメタンを推進燃料として使用するが、打ち上げのときにはこれが燃焼するので、CO_2が排出される。そこでCO_2負荷の計算手順としては、機体製造と推進燃料のCO_2負荷の計算を別個に行った後、それらを合計し、宇宙輸送機からのCO_2負荷をもとめることにした。以下の説明も、この計算手順に従って行うこととする。

5.1 宇宙輸送機の機体製造からのCO_2負荷

宇宙輸送機の必要資材量のデータをDOE/NASAリファレンスシステムより得た。これを用いてCO_2負荷計算を行った。計算課程を説明するために、大量打ち上げロケットの場合を例をとりあげよう。表25は大量打ち上げロケット1機あたりの所要資材量を、資材の種類別に示している。資材の種類をみるとアルミニウム、チタン、ステンレス、セラミック、銅といった資材があげられている。実際の機体製造では、素材を加工して部品とし、その部品を組み立てる工程、部品を検査する工程があり、それらの工程において電力などエネルギー投入がある。そこで宇宙輸送機の機体製造からのCO_2負荷計算は2段階に分けて行うことにした。第1段階では、宇宙輸送機に使用された資材（主に素材）の製造からのCO_2負荷計算を行う。計算に用いるのは表25に示された、DOE/NASAリファレンスシステムより得たデータである。第2段階

では、資材から機体が完成するまでの工程からのCO_2負荷計算を行う。

表 25: 大量打ち上げロケット1機
あたりの所要資材量

所要資材名称	所要資材量	
アルミニウム	470	MT
チタン	248	MT
ステンレス	232	MT
セラミック	103	MT
銅	17	MT
その他	100	MT
計	1170	MT

出所：DOE/NASA リファレンスシステムより.

宇宙輸送機に使用された資材の製造からのCO_2負荷計算について説明する。すでに表25で、大量打ち上げロケット1機あたりの所要資材量が、資材の種類別に示された。各所要資材を産業連関表の部門に割り当てる。表26は大量打ち上げロケットの所要資材に対応する産業連関表部門を示している。大量打ち上げロケットの場合であれば、アルミニウムをアルミニウム部門、チタンをその他の非鉄金属地金部門、ステンレスを熱間圧延鋼材部門、セラミックを耐火物部門、銅を銅部門に割り当てる。

表 26: 大量打ち上げロケットの所要資材に
対応する産業連関表部門

所要資材名称	対応する産業連関表部門	
	符号	名称
アルミニウム	2711-04	アルミウム（含再生）
チタン	2711-09	その他の非鉄金属地金
ステンレス	2621-01	熱間圧延鋼材
セラミックス	2599-01	耐火物
銅	2711-01	銅

所要資材量を金額単位に換算する。換算に用いた単価は原則として産業連関表に記載されている単価を用いた。産業連関表に単価の記載がない品目は、貿易統計の単価を参考にした。大量打ち上げロケットの所要資材の金額換算に用いた単価を表27に示した。

所要資材量（表25）、部門対応（表26）、単価（表27）のデータを用いて、大量打ち上げロケットの製造に関する投入ベクトルの計算を行った。表28には大量打ち上げロケット1機の製造に投入された品目名称と投入金額を示している。表中の卸売から倉庫までは、商業マージン、国内運賃である。例えば熱間圧延

表 27: 大量打ち上げロケット1機あたりの
所要資材と金額換算に用いた単価

所要資材名称	金額換算に用いた単価	
アルミニウム	640202	円／MT
チタン	1348500	円／MT
ステンレス	141523	円／MT
セラミック	261366	円／MT
銅	392021	円／MT

表 28: 大量打ち上げロケット1機の製造に
投入された品目の名称、投入金額

投入品目 符号	名称	投入金額 (単位：百万円)
2711-04	アルミニウム（含再生）	301
2711-09	その他の非鉄金属地金	334
2621-01	特殊鋼熱間圧延鋼材	33
2599-01	耐火物	27
2711-01	銅	7
6111-01	卸売	81
7112-01	鉄道貨物輸送	1
7122-01	道路貨物輸送	24
7122-02	通運	1
7142-01	沿海・内水面貨物輸送	1
7143-01	港湾運送	1
7161-01	倉庫	10
	計	819

鋼材が鉄鋼メーカーからロケット製造メーカーに出荷された場合に、その間の取り引きを仲介した商社のマージンが、商業マージンの中に含まれている。国内運賃も同様であり、上の例でいえば、鉄鋼メーカーからロケット製造メーカーまでの輸送を請け負った運輸活動に支払われた運賃が、国内運賃に含まれる。商業マージン、国内運賃の計算は産業連関表の商業マージン率、国内運賃率に基づいて計算を行っている。

表28のベクトル、環境分析用産業連関表からの投入係数行列、CO_2排出係数ベクトルを用いて大量打ち上げロケットからのCO_2負荷計算を行った。表29に大量打ち上げロケット1機からのCO_2排出量を示した。これをみると大量打ち上げロケット1機の機体製造によって約5千5百tのCO_2が排出されることになる。ただし、上で述べたように、この値は機体に使用された素材の製造によるCO_2であり、素材を加工して、部品を製造し、機体を組み立てる工程で投入された各種の財貨・サービスからのCO_2排出は含まれていない。

素材を加工して、部品を製造し、機体を組み立てる工程で投入された各種の財貨・サービスからのCO_2排出を、どのように計算するかが問題である。DOE/NASA リファレンスシステムには情報がないので、他の資料から補うことになる。ひとつの方法として試みたのが、産業連関表の航空機部門（部門コード3622-01）の投入ベクトルを用いる方法である。産業連関表の航空機部門は、さまざまな航空機、すなわち旅客機、軍用機、ロケットの機体や部品を製造している部門である。航空機部門の投入ベクトルは、SPS で使用される大量打ち上げロケットの投入ベクトルと同じではない。そこで1つの仮定を置く。素材の製造からのCO_2負荷と、素材の製造も含めた機体の完成までの全工程からのCO_2負荷の比率を考え、これを素材比率とする。航空機部門の素材比率と、SPS で使用される大量打ち上げロケットの同比率が同じであると仮定するのである。具体的な計算過程を示そう。まず産業連関表の航空機部門の投入ベクトルを$\mathbf{f}_1$としよう。航空機部門からの部門別誘発額ベクトル$\mathbf{x}_1$、誘発排出量C_1は次式のように計算される。

$$\mathbf{x}_1 = [\mathbf{I} - \mathbf{A}]^{-1} \cdot \mathbf{f}_1$$

$$C_1 = \mathbf{e}' \cdot \mathbf{x}_1$$

ただし、記号法は以下のとおりである。

$\mathbf{I}$: 単位行列
$\mathbf{A}$: 投入係数行列
$\mathbf{e}$: CO_2排出係数ベクトル
$\mathbf{f}_1$: 航空機部門の投入ベクトル
$\mathbf{x}_1$: 航空機部門からの部門別誘発額ベクトル
C_1: 航空機部門からの誘発排出量

部門別誘発額ベクトル$\mathbf{x}_1$の要素のうち、特定の素材部門の値はそのままとし、それ以外の部門の値を0としたベクトルを$\mathbf{f}_2$としよう。特定の素材部門として選択したのは、プラスチック製品、板ガラス・安全ガラス、耐火物、熱間圧延鋼材、アルミニウム、その他の非鉄金属地金の6部門である。これらの6部門はいずれも、SPSで使用される宇宙輸送機の資材としてDOE/NASAリファレンスシステムに記載された品目に該当する。ベクトル$\mathbf{f}_2$を用いて再度、誘発計算を行う。

$$C_2 = \mathbf{e}' \cdot [\mathbf{I} - \mathbf{A}]^{-1} \cdot \mathbf{f}_2$$

C_1とC_2の比率を素材比率と定義した。

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\text{機体の完成までの全工程からの}CO_2\text{負荷}}{\text{素材の製造からの}CO_2\text{負荷}} = \text{素材比率}$$

計算を行ったところ、航空機の素材比率は2.5であった。航空機の素材比率と、SPSで使用する大量打上げロケットの素材比率は同じであると仮定した。大量打上げロケットの機体に使用された素材の製造によるCO_2負荷は5498.3t-CO_2／機であった。したがって、

$$\underbrace{5498.3\ (t\,/\,\text{機})}_{\text{素材の製造による}CO_2\text{負荷}} \times 2.5 = \underbrace{13745.75\ (t\,/\,\text{機})}_{\text{機体完成までの全工程からの}CO_2\text{負荷}}$$

となり、機体完成までの全工程からのCO_2負荷は約1万4千t-CO_2／機となる。以上のような計算を、その外の宇宙輸送機にも行った。まず表30～32に人員打上げ輸送機、軌道間貨物輸送機（シリコン部品を除く）、軌道間人員輸送機の機体に使用された素材の製造によるCO_2負荷計算結果を示した。軌道間貨物輸送機については、使用された素材のうち、シリコン部品を除いて計算している。これらシリコン部品は実質的には太陽電池である。そこで、シリコン部品製造からのCO_2負荷については、太陽電池のCO_2負荷計算でもとめた値を利用することにした。

軌道間貨物輸送機については、計算過程を順を追って説明することにしたい。軌道間貨物輸送機の構成素材の中にシリコン部品があって、それが実質的には太陽電池であることは既に述べた。太陽電池については詳しい計算がされているので、それを利用することにした。したがって、シリコン部品を除く素材製造からの負荷計算と、シリコン部品の負荷計算を別に行った後で、両者を合計することにした。まず、シリコン部品を除く素材製造からのCO_2負荷計算を説明する。シリコン部品を除く素材製造からのCO_2負荷は表33のように732.3t-CO_2／機である。これを2.5倍すると1830.75t-CO_2／機になる。計算は次式のようになる。

$$\underbrace{732.3\ (t\,/\,\text{機})}_{\text{素材の製造による}CO_2\text{負荷}} \times 2.5 = \underbrace{1830.75\ (t\,/\,\text{機})}_{\text{機体完成までの全工程からの}CO_2\text{負荷}}$$

表 29: 大量打ち上げロケット１機に使用された素材の製造によるCO_2排出量

(単位：t-CO_2)

直接効果		間接１次効果		間接２次効果		間接３次効果		間接４次効果	
アルミニウム	686.5	自家発電	459.0	事業用発電	448.4	事業用発電	154.8	事業用発電	65.8
他非鉄金属地金	465.2	事業用発電	457.9	銑鉄	267.1	石炭製品	149.9	自家発電	30.4
道路貨物輸送	82.2	アルミニウム	147.2	自家発電	248.9	自家発電	83.7	石炭製品	27.6
耐火物	67.3	他非鉄金属地金	113.1	自家貨物輸送	156.7	自家貨物輸送	40.9	自家貨物輸送	12.6
熱間圧延鋼材	47.1	石炭製品	77.9	石炭製品	48.1	石油製品	22.3	石油製品	8.5
銅	11.2	他窯業・土石製品	57.8	セメント	38.6	セメント	12.8	自家旅客輸送	5.4
卸売	9.4	粗鋼(転炉)	45.0	アルミニウム	31.7	自家旅客輸送	10.8	洋紙・和紙	5.2
沿海・内水面輸送	4.9	非鉄金属鉱物	44.2	フェロアロイ	29.2	沿海・内水面輸送	7.8	セメント	4.7
通運	1.1	ソーダ工業製品	35.3	他非鉄金属地金	26.3	アルミニウム	6.9	沿海・内水面輸送	3.3
港湾運送	0.9	道路貨物輸送	26.5	自家旅客輸送	25.7	洋紙・和紙	6.4	道路貨物輸送	2.9
倉庫	0.6	粗鋼(電気炉)	23.1	石油製品	18.3	他非鉄金属地金	6.0	航空輸送	2.0
鉄道貨物輸送	0.6	自家旅客輸送	17.9	他窯業・土石製品	11.6	道路貨物輸送	5.8	廃棄物処理(産業)	2.0
		石油製品	17.2	道路貨物輸送	11.4	廃棄物処理(産業)	4.6	分類不明	1.8
		沿海・内水面輸送	15.9	ソーダ工業製品	11.3	鉄鉱石	4.3	銑鉄	1.8
		分類不明	15.5	非鉄金属鉱物	10.3	他窯業・土石製品	3.9	アルミニウム	1.7
		自家貨物輸送	13.2	沿海・内水面輸送	9.3	ソーダ工業製品	3.8	原油	1.6
		炭素・黒鉛製品	12.9	航空輸送	8.1	分類不明	3.6	他非鉄金属地金	1.5
		港湾運送	11.6	廃棄物処理(産業)	7.2	航空輸送	3.6	ソーダ工業製品	1.5
		セメント	6.0	分類不明	7.1	非鉄金属鉱物	2.4	板紙	1.4
		航空輸送	5.5	塩	5.0	塩	1.8	他窯業・土石製品	1.4
		卸売	5.5	炭素・黒鉛製品	3.7	原油	1.5	パルプ	1.3
		企業内研究開発	4.9	洋紙・和紙	3.6	板紙	1.4	石油化学基礎製品	0.9
		耐火物	3.0	港湾運送	3.0	ハイヤー・タクシー	1.3	脂肪族中間物	0.8
		下水道	2.5	企業内研究開発	2.8	他無機化学工業製品	1.2	熱間圧延鋼材	0.8
		他無機化学工業製品	2.1	ハイヤー・タクシー	2.7	企業内研究開発	1.1	石炭	0.8
		ハイヤー・タクシー	2.1	他有機化学工業製品	2.3	脂肪族中間物	0.9	ハイヤー・タクシー	0.8
		廃棄物処理(産業)	1.4	廃棄物処理(公営)	2.0	他有機化学工業製品	0.9	熱可塑性樹脂	0.7
		建設補修	1.3	卸売	2.0	港湾運送	0.9	他無機化学工業製品	0.7
		他窯業原料鉱物	1.2	バス	1.6	卸売	0.9	粗鋼(転炉)	0.6
		他非金属鉱物	1.2	不動産賃貸業	1.6	パルプ	0.8	塩	0.6
		不動産賃貸業	1.0	原油	1.4	炭素・黒鉛製品	0.8	鋳鉄品及び鍛工品	0.6
		熱供給業	0.8	下水道	1.4	フェロアロイ	0.7	非鉄金属鉱物	0.5
		都市ガス	0.7	他無機化学工業製品	1.3	廃棄物処理(公営)	0.7	企業内研究開発	0.5
		廃棄物処理(公営)	0.6	火薬類	1.2	不動産賃貸業	0.7	冷間仕上鋼材	0.5
		金融	0.6	鋳鍛鋼	1.1	他対事業所サービス	0.7	卸売	0.4
		硫酸	0.6	他教育訓練機関(産業)	0.9	熱可塑性樹脂	0.7	他対事業所サービス	0.4
		バス	0.5	コールタール製品	0.9	鋳鉄品及び鍛工品	0.6	環式中間物	0.4
		通運	0.5	建設補修	0.8	熱間圧延鋼材	0.6	合成ゴム	0.4
		情報サービス	0.4	他対事業所サービス	0.8	小売	0.6	粗鋼(電気炉)	0.4
		他対事業所サービス	0.4	鉄道旅客輸送	0.8	下水道	0.6	石油化学系芳香族製品	0.4
		小売	0.3	石炭	0.6	バス	0.6	他有機化学工業製品	0.4
		機械修理	0.3	アンモニア	0.5	冷間仕上鋼材	0.5	不動産賃貸業	0.3
		銅	0.3	板紙	0.5	自動車修理	0.5	タイヤ・チューブ	0.3
		他非鉄金属製品	0.3	小売	0.5	建設補修	0.5	港湾運送	0.3
		鉄道旅客輸送	0.3	他製造工業製品	0.5	石炭	0.5	フェロアロイ	0.3
		アンモニア	0.3	素材	0.4	石油化学系芳香族製品	0.4	下水道	0.3
		熱間圧延鋼材	0.3	情報サービス	0.4	石油化学基礎製品	0.4	板・安全ガラス	0.3
		鉄道貨物輸送	0.2	耐火物	0.4	鋳鍛鋼	0.4	廃棄物処理(公営)	0.3
		配管工事付属品・粉末冶金製品・道具類	0.2	他非金属鉱物	0.4	他教育訓練機関(産業)	0.4	自動車部品	0.3
		他有機化学工業製品	0.2	都市ガス	0.4	鉄道車両修理	0.4	バス	0.3
		その他計	3.7	その他計	12.9	その他計	13.8	その他計	8.7
合計	1377.0	合計	1640.4	合計	1473.6	合計	571.9	合計	207.2
累積	1377.0	累積	3017.4	累積	4491.0	累積	5062.9	累積	5270.1

注１）上位50位かつ排出量0.1t-CO_2以上の財について表示.

注２）国内および海外でのマテリアル生産からのCO_2排出は含まれているが，外洋輸送からのCO_2排出は含まれていない.

表 29: （続）大量打ち上げロケット１機に使用された素材の製造によるCO_2排出量

（単位：t-CO_2）

間接５次効果		間接６次効果		間接７次効果		間接８次効果		直接間接合計	
事業用発電	27.3	事業用発電	13.3	事業用発電	7.2	事業用発電	4.1	事業用発電	1183.6
自家発電	22.2	自家発電	8.7	自家発電	4.4	石炭製品	2.8	アルミニウム	875.1
石炭製品	8.0	石炭製品	4.8	銑鉄	3.9	銑鉄	2.7	自家発電	863.0
自家貨物輸送	4.2	銑鉄	4.6	石炭製品	3.8	自家発電	2.5	他非鉄金属地金	613.0
銑鉄	3.7	石油製品	1.8	石油製品	1.0	石油製品	0.6	石炭製品	327.2
石油製品	3.6	洋紙・和紙	1.7	洋紙・和紙	0.9	洋紙・和紙	0.4	銑鉄	285.7
洋紙・和紙	3.1	自家貨物輸送	1.5	自家貨物輸送	0.7	自家貨物輸送	0.4	自家貨物輸送	230.8
自家旅客輸送	2.6	自家旅客輸送	1.2	自家旅客輸送	0.6	自家旅客輸送	0.3	道路貨物輸送	132.2
セメント	2.2	セメント	0.8	石油化学基礎製品	0.5	石油化学基礎製品	0.3	他窯業・土石製品	76.9
道路貨物輸送	1.5	道路貨物輸送	0.8	道路貨物輸送	0.5	フェロアロイ	0.3	石油製品	73.9
沿海・内水面輸送	1.4	石油化学基礎製品	0.8	フェロアロイ	0.4	粗鋼(転炉)	0.3	耐火物	71.2
パルプ	1.1	粗鋼(転炉)	0.7	粗鋼(転炉)	0.4	道路貨物輸送	0.3	セメント	65.9
航空輸送	1.0	パルプ	0.7	セメント	0.4	他窯業・土石製品	0.2	自家旅客輸送	65.0
分類不明	1.0	沿海・内水面輸送	0.6	パルプ	0.4	パルプ	0.2	非鉄金属鉱物	57.7
石油化学基礎製品	0.9	他窯業・土石製品	0.6	他窯業・土石製品	0.3	セメント	0.2	ソーダ工業製品	53.7
廃棄物処理(産業)	0.9	フェロアロイ	0.5	沿海・内水面輸送	0.3	沿海・内水面輸送	0.2	熱間圧延鋼材	50.7
他窯業・土石製品	0.9	航空輸送	0.5	脂肪族中間物	0.3	脂肪族中間物	0.2	粗鋼(転炉)	48.6
板紙	0.8	ソーダ工業製品	0.5	熱間圧延鋼材	0.3	ソーダ工業製品	0.1	沿海・内水面輸送	44.0
ソーダ工業製品	0.8	熱間圧延鋼材	0.5	ソーダ工業製品	0.3	熱間圧延鋼材	0.1	フェロアロイ	32.3
粗鋼(転炉)	0.8	分類不明	0.5	航空輸送	0.2	粗鋼(電気炉)	0.1	分類不明	29.9
熱間圧延鋼材	0.7	脂肪族中間物	0.5	粗鋼(電気炉)	0.2	航空輸送	0.1	粗鋼(電気炉)	25.2
脂肪族中間物	0.6	板紙	0.4	分類不明	0.2	分類不明	0.1	洋紙・和紙	22.0
原油	0.6	廃棄物処理(産業)	0.4	板紙	0.2	石油化学系芳香族製品	0.1	航空輸送	21.1
アルミニウム	0.6	粗鋼(電気炉)	0.3	廃棄物処理(産業)	0.2	板紙	0.1	卸売	18.6
鋳鉄品及び鍛工品	0.6	熱可塑性樹脂	0.3	石油化学系芳香族製品	0.2	環式中間物	0.1	炭素・黒鉛製品	17.7
熱可塑性樹脂	0.5	鋳鉄品及び鍛工品	0.3	環式中間物	0.2	廃棄物処理(産業)	0.1	廃棄物処理(産業)	16.9
他非鉄金属地金	0.5	環式中間物	0.3	熱可塑性樹脂	0.2	その他計	1.8	港湾運送	16.8
フェロアロイ	0.5	アルミニウム	0.3	鋳鉄品及び鍛工品	0.2			銅	11.9
他無機化学工業製品	0.4	石油化学系芳香族製品	0.3	アルミニウム	0.2			企業内研究開発	10.0
粗鋼(電気炉)	0.4	他無機化学工業製品	0.3	冷間仕上鋼材	0.2			塩	8.0
環式中間物	0.4	冷間仕上鋼材	0.3	他無機化学工業製品	0.2			ハイヤー・タクシー	7.6
ハイヤー・タクシー	0.4	原油	0.3	原油	0.1			他無機化学工業製品	6.3
冷間仕上鋼材	0.4	他非鉄金属地金	0.2	他非鉄金属地金	0.1			原油	5.7
合成ゴム	0.4	ハイヤー・タクシー	0.2	その他計	2.3			板紙	5.0
石油化学系芳香族製品	0.3	合成ゴム	0.2					下水道	4.9
企業内研究開発	0.3	企業内研究開発	0.2					パルプ	4.8
塩	0.2	亜鉛	0.1					鉄鉱石	4.7
他対事業所サービス	0.2	塩	0.1					石油化学基礎製品	4.3
卸売	0.2	他合成樹脂	0.1					他有機化学工業製品	4.1
他合成樹脂	0.2	卸売	0.1					廃棄物処理(公営)	3.8
亜鉛	0.2	他対事業所サービス	0.1					不動産賃貸業	3.8
自動車部品	0.2	その他計	3.2					脂肪族中間物	3.8
他有機化学工業製品	0.2							バス	3.2
石炭	0.2							建設補修	3.0
不動産賃貸業	0.2							熱可塑性樹脂	2.9
染色整理	0.2							他対事業所サービス	2.7
非鉄金属鉱物	0.1							鋳鉄品及び鍛工品	2.7
プラスチック製品	0.1							石炭	2.1
板・安全ガラス	0.1							冷間仕上鋼材	2.1
廃棄物処理(公営)	0.1							環式中間物	2.0
その他計	4.8							その他計	70.1
合計	102.8	合計	53.6	合計	31.4	合計	18.7	合計	5498.3
累積	5372.9	累積	5426.5	累積	5457.9	累積	5476.5	累積	5498.3

表 30: 人員打ち上げロケット１機に使用された素材の製造によるCO_2排出量

(単位：t-CO_2)

直接効果		間接１次効果		間接２次効果		間接３次効果		間接４次効果	
アルミニウム	154.8	自家発電	103.6	事業用発電	101.2	事業用発電	34.9	事業用発電	14.8
他非鉄金属地金	105.0	事業用発電	103.3	銑鉄	59.9	石炭製品	33.7	自家発電	6.8
道路貨物輸送	18.5	アルミニウム	33.2	自家発電	56.2	自家発電	18.9	石炭製品	6.2
耐火物	15.0	他非鉄金属地金	25.5	自家貨物輸送	35.4	自家貨物輸送	9.2	自家貨物輸送	2.8
熱間圧延鋼材	10.6	石炭製品	17.6	石炭製品	10.9	石油製品	5.0	石油製品	1.9
銅	2.6	他窯業・土石製品	12.9	セメント	8.7	セメント	2.9	自家旅客輸送	1.2
卸売	2.1	粗鋼(転炉)	10.1	アルミニウム	7.1	自家旅客輸送	2.4	洋紙・和紙	1.2
沿海・内水面輸送	1.1	非鉄金属鉱物	10.0	フェロアロイ	6.5	沿海・内水面輸送	1.8	セメント	1.1
通運	0.3	ソーダ工業製品	8.0	他非鉄金属地金	5.9	アルミニウム	1.5	沿海・内水面輸送	0.7
港湾運送	0.2	道路貨物輸送	6.0	自家旅客輸送	5.8	洋紙・和紙	1.4	道路貨物輸送	0.7
倉庫	0.1	粗鋼(電気炉)	5.2	石油製品	4.1	他非鉄金属地金	1.4	航空輸送	0.4
鉄道貨物輸送	0.1	自家旅客輸送	4.0	他窯業・土石製品	2.6	道路貨物輸送	1.3	廃棄物処理(産業)	0.4
		石油製品	3.9	道路貨物輸送	2.6	廃棄物処理(産業)	1.0	分類不明	0.4
		沿海・内水面輸送	3.6	ソーダ工業製品	2.5	鉄鉱石	1.0	銑鉄	0.4
		分類不明	3.5	非鉄金属鉱物	2.3	他窯業・土石製品	0.9	アルミニウム	0.4
		自家貨物輸送	3.0	沿海・内水面輸送	2.1	ソーダ工業製品	0.9	原油	0.4
		炭素・黒鉛製品	2.9	航空輸送	1.8	分類不明	0.8	他非鉄金属地金	0.3
		港湾運送	2.6	廃棄物処理(産業)	1.6	航空輸送	0.8	ソーダ工業製品	0.3
		セメント	1.3	分類不明	1.6	非鉄金属鉱物	0.5	板紙	0.3
		航空輸送	1.2	塩	1.1	塩	0.4	他窯業・土石製品	0.3
		卸売	1.2	炭素・黒鉛製品	0.8	原油	0.3	パルプ	0.3
		企業内研究開発	1.1	洋紙・和紙	0.8	板紙	0.3	石油化学基礎製品	0.2
		耐火物	0.7	港湾運送	0.7	ハイヤー・タクシー	0.3	脂肪族中間物	0.2
		下水道	0.6	企業内研究開発	0.6	他無機化学工業製品	0.3	熱間圧延鋼材	0.2
		他無機化学工業製品	0.5	ハイヤー・タクシー	0.6	企業内研究開発	0.2	石炭	0.2
		ハイヤー・タクシー	0.5	他有機化学工業製品	0.5	脂肪族中間物	0.2	ハイヤー・タクシー	0.2
		廃棄物処理(産業)	0.3	廃棄物処理(公営)	0.5	他有機化学工業製品	0.2	熱可塑性樹脂	0.2
		建設補修	0.3	卸売	0.4	港湾運送	0.2	他無機化学工業製品	0.2
		他窯業原料鉱物	0.3	バス	0.4	卸売	0.2	粗鋼(転炉)	0.1
		他非金属鉱物	0.3	不動産賃貸業	0.3	パルプ	0.2	塩	0.1
		不動産賃貸業	0.2	原油	0.3	炭素・黒鉛製品	0.2	鋳鉄品及び鍛工品	0.1
		熱供給業	0.2	下水道	0.3	フェロアロイ	0.2	非鉄金属鉱物	0.1
		都市ガス	0.2	他無機化学工業製品	0.3	廃棄物処理(公営)	0.2	企業内研究開発	0.1
		廃棄物処理(公営)	0.1	火薬類	0.3	他対事業所サービス	0.1	冷間仕上鋼材	0.1
		金融	0.1	鋳鍛鋼	0.3	不動産賃貸業	0.1	その他計	3.2
		硫酸	0.1	他教育訓練機関(産業)	0.2	熱可塑性樹脂	0.1		
		バス	0.1	コールタール製品	0.2	鋳鉄品及び鍛工品	0.1		
		通運	0.1	建設補修	0.2	熱間圧延鋼材	0.1		
		その他計	1.6	他対事業所サービス	0.2	小売	0.1		
				鉄道旅客輸送	0.2	下水道	0.1		
				石炭	0.1	バス	0.1		
				アンモニア	0.1	冷間仕上鋼材	0.1		
				板紙	0.1	自動車修理	0.1		
				小売	0.1	建設補修	0.1		
				他製造工業製品	0.1	石炭	0.1		
				その他計	3.4	その他計	3.5		
合計	310.6	合計	369.8	合計	332.1	合計	128.8	合計	46.7
累積	310.6	累積	680.4	累積	1012.4	累積	1141.2	累積	1187.9

注１）上位50位かつ排出量0.1t-CO_2以上の財について表示.

注２）国内および海外でのマテリアル生産からのCO_2排出は含まれているが，外洋輸送からのCO_2排出は含まれていない.

表 30: （続）人員打ち上げロケット１機に使用された素材の製造によるCO_2排出量

(単位：t-CO_2)

間接5次効果		間接6次効果		間接7次効果		間接8次効果		直接間接合計	
事業用発電	6.2	事業用発電	3.0	事業用発電	1.6	事業用発電	0.9	事業用発電	267.0
自家発電	5.0	自家発電	2.0	自家発電	1.0	石炭製品	0.6	アルミニウム	197.4
石炭製品	1.8	石炭製品	1.1	銑鉄	0.9	銑鉄	0.6	自家発電	194.7
自家貨物輸送	1.0	銑鉄	1.0	石炭製品	0.8	自家発電	0.6	他非鉄金属地金	138.4
銑鉄	0.8	石油製品	0.4	石油製品	0.2	石油製品	0.1	石炭製品	73.6
石油製品	0.8	洋紙・和紙	0.4	洋紙・和紙	0.2	洋紙・和紙	0.1	銑鉄	64.1
洋紙・和紙	0.7	自家貨物輸送	0.3	自家貨物輸送	0.2	その他計	1.3	自家貨物輸送	52.1
自家旅客輸送	0.6	自家旅客輸送	0.3	自家旅客輸送	0.1			道路貨物輸送	29.8
セメント	0.5	道路貨物輸送	0.2	石油化学基礎製品	0.1			他窯業・土石製品	17.2
道路貨物輸送	0.3	セメント	0.2	道路貨物輸送	0.1			石油製品	16.7
沿海・内水面輸送	0.3	石油化学基礎製品	0.2	フェロアロイ	0.1			耐火物	15.9
パルプ	0.3	粗鋼(転炉)	0.1	その他計	1.7			セメント	14.9
航空輸送	0.2	パルプ	0.1					自家旅客輸送	14.7
分類不明	0.2	沿海・内水面輸送	0.1					非鉄金属鉱物	13.0
石油化学基礎製品	0.2	他窯業・土石製品	0.1					ソーダ工業製品	12.1
廃棄物処理(産業)	0.2	フェロアロイ	0.1					熱間圧延鋼材	11.4
他窯業・土石製品	0.2	航空輸送	0.1					粗鋼(転炉)	10.9
板紙	0.2	熱間圧延鋼材	0.1					沿海・内水面輸送	9.9
ソーダ工業製品	0.2	ソーダ工業製品	0.1					フェロアロイ	7.2
粗鋼(転炉)	0.2	分類不明	0.1					分類不明	6.8
熱間圧延鋼材	0.2	脂肪族中間物	0.1					粗鋼(電気炉)	5.7
脂肪族中間物	0.1	その他計	1.8					洋紙・和紙	5.0
原油	0.1							航空輸送	4.8
アルミニウム	0.1							卸売	4.2
鋳鉄品及び鍛工品	0.1							炭素・黒鉛製品	4.0
熱可塑性樹脂	0.1							廃棄物処理(産業)	3.8
他非鉄金属地金	0.1							港湾運送	3.8
フェロアロイ	0.1							銅	2.8
その他計	2.3							企業内研究開発	2.2
								塩	1.8
								ハイヤー・タクシー	1.7
								他無機化学工業製品	1.4
								原油	1.3
								板紙	1.1
								下水道	1.1
								パルプ	1.1
								鉄鉱石	1.0
								石油化学基礎製品	1.0
								他有機化学工業製品	0.9
								廃棄物処理(公営)	0.9
								不動産賃貸業	0.9
								脂肪族中間物	0.9
								パス	0.7
								建設補修	0.7
								熱可塑性樹脂	0.7
								他対事業所サービス	0.6
								鋳鉄品及び鍛工品	0.6
								石炭	0.5
								冷間仕上鋼材	0.5
								環式中間物	0.5
								その他計	15.8
合計	23.2	合計	12.1	合計	7.1	合計	4.2	合計	1239.4
累積	1211.1	累積	1223.1	累積	1230.2	累積	1234.4	累積	1239.4

表 31: 軌道間貨物輸送機１機に使用された素材の製造によるCO_2排出量

(単位：t-CO_2)

直接効果		間接１次効果		間接２次効果		間接３次効果		間接４次効果	
道路貨物輸送	55.7	事業用発電	73.4	事業用発電	50.1	事業用発電	21.0	事業用発電	12.1
銅	44.0	熱可塑性樹脂	32.9	自家発電	29.7	自家発電	14.4	自家発電	8.0
プラスチック製品	17.1	自家発電	17.8	銑鉄	16.1	石炭製品	10.8	石炭製品	5.1
沿海・内水面輸送	5.7	他合成樹脂	7.2	石油化学基礎製品	14.7	石油化学基礎製品	8.7	石油製品	4.5
アルミニウム	4.4	自家旅客輸送	4.1	自家貨物輸送	13.8	石油製品	7.1	石油化学基礎製品	4.1
熱間圧延鋼材	2.8	石油製品	3.9	環式中間物	10.1	石油化学系芳香族製品	4.2	石油化学系芳香族製品	2.2
卸売	2.6	非鉄金属鉱物	3.9	熱可塑性樹脂	7.5	脂肪族中間物	3.8	脂肪族中間物	1.7
港湾運送	2.5	プラスチック製品	3.8	脂肪族中間物	6.1	環式中間物	3.5	環式中間物	1.0
倉庫	1.1	道路貨物輸送	3.3	セメント	3.3	熱可塑性樹脂	1.8	洋紙・和紙	0.9
板・安全ガラス	0.9	分類不明	3.2	自家旅客輸送	3.1	自家貨物輸送	1.6	銑鉄	0.9
通運	0.3	石炭製品	3.2	石油製品	2.8	道路貨物輸送	1.4	自家旅客輸送	0.8
鉄道貨物輸送	0.2	自家貨物輸送	3.1	道路貨物輸送	2.7	洋紙・和紙	1.4	自家貨物輸送	0.8
		高機能性樹脂	3.0	石炭製品	2.5	沿海・内水面輸送	1.3	ソーダ工業製品	0.8
		沿海・内水面輸送	2.9	沿海・内水面輸送	1.9	自家旅客輸送	1.3	道路貨物輸送	0.7
		粗鋼(転炉)	2.7	フェロアロイ	1.8	ソーダ工業製品	1.3	沿海・内水面輸送	0.7
		熱硬化性樹脂	2.4	他合成樹脂	1.7	他無機化学工業製品	0.9	原油	0.5
		航空輸送	1.9	洋紙・和紙	1.5	セメント	0.8	熱可塑性樹脂	0.5
		可塑剤	1.8	他無機化学工業製品	1.4	アンモニア	0.8	セメント	0.4
		脂肪族中間物	1.4	分類不明	1.2	分類不明	0.8	分類不明	0.4
		粗鋼(電気炉)	1.4	廃棄物処理(産業)	1.2	廃棄物処理(産業)	0.7	他無機化学工業製品	0.4
		ガラス繊維・同製品	1.3	航空輸送	1.1	他窯業・土石製品	0.6	他窯業・土石製品	0.3
		洋紙・和紙	1.3	他窯業・土石製品	1.1	板紙	0.5	アンモニア	0.3
		銅	1.2	メタン誘導品	1.1	航空輸送	0.5	板紙	0.3
		アルミニウム	0.9	ソーダ工業製品	0.9	他合成樹脂	0.4	パルプ	0.3
		他非鉄金属地金	0.9	プラスチック製品	0.9	メタン誘導品	0.4	廃棄物処理(産業)	0.3
		ハイヤー・タクシー	0.8	高機能性樹脂	0.7	パルプ	0.3	航空輸送	0.3
		他窯業・土石製品	0.7	熱硬化性樹脂	0.6	企業内研究開発	0.3	塩	0.2
		不動産賃貸業	0.7	合成ゴム	0.6	鉄鉱石	0.3	粗鋼(転炉)	0.2
		他無機化学工業製品	0.7	企業内研究開発	0.5	プラスチック製品	0.2	企業内研究開発	0.2
		廃棄物処理(産業)	0.6	可塑剤	0.4	原油	0.2	熱間圧延鋼材	0.1
		港湾運送	0.6	石油化学系芳香族製品	0.4	他有機化学工業製品	0.2	他合成樹脂	0.1
		卸売	0.6	ハイヤー・タクシー	0.4	ハイヤー・タクシー	0.2	メタン誘導品	0.1
		合成ゴム	0.6	他有機化学工業製品	0.4	合成ゴム	0.2	ハイヤー・タクシー	0.1
		環式中間物	0.4	ガラス繊維・同製品	0.3	熱間圧延鋼材	0.2	フェロアロイ	0.1
		ソーダ工業製品	0.3	パルプ	0.3	塩	0.2	その他計	2.8
		無機顔料	0.3	板紙	0.3	コールタール製品	0.2		
		メタン誘導品	0.3	原油	0.3	熱硬化性樹脂	0.2		
		企業内研究開発	0.3	他非鉄金属地金	0.3	高機能性樹脂	0.2		
		廃棄物処理(公営)	0.2	アルミニウム	0.3	粗鋼(転炉)	0.1		
		他対事業所サービス	0.2	卸売	0.2	卸売	0.1		
		バス	0.2	廃棄物処理(公営)	0.2	他化学最終製品	0.1		
		建設補修	0.2	他対事業所サービス	0.2	他非鉄金属地金	0.1		
		板・安全ガラス	0.2	下水道	0.2	他対事業所サービス	0.1		
		他有機化学工業製品	0.2	バス	0.2	冷間仕上鋼材	0.1		
		合成染料	0.2	非鉄金属鉱物	0.2	鋳鉄品及び鍛工品	0.1		
		下水道	0.2	単質肥料	0.2	アルミニウム	0.1		
		都市ガス	0.2	不動産賃貸業	0.2	その他計	3.2		
		小売	0.1	熱間圧延鋼材	0.1				
		鉄道旅客輸送	0.1	亜鉛	0.1				
		情報サービス	0.1	建設補修	0.1				
		その他計	2.4	その他計	4.3				
合計	137.4	合計	194.5	合計	190.2	合計	96.8	合計	52.3
累積	137.4	累積	331.9	累積	522.1	累積	619.0	累積	671.2

注１）上位50位かつ排出量0.1t-CO_2以上の財について表示.

注２）国内および海外でのマテリアル生産からのCO_2排出は含まれているが，外洋輸送からのCO_2排出は含まれていない.

表 31: （続）軌道間貨物輸送機１機に使用された素材の製造によるCO_2排出量

(単位：t-CO_2)

間接5次効果		間接6次効果		間接7次効果		間接8次効果		直接間接合計	
事業用発電	6.8	事業用発電	3.6	事業用発電	1.9	事業用発電	1.0	事業用発電	171.1
自家発電	5.2	自家発電	2.7	自家発電	1.3	自家発電	0.7	自家発電	80.5
石炭製品	2.7	石炭製品	1.5	石炭製品	0.9	石炭製品	0.5	道路貨物輸送	64.6
石油製品	2.2	石油製品	1.0	銑鉄	0.6	銑鉄	0.4	銅	45.3
石油化学基礎製品	1.7	銑鉄	0.9	石油製品	0.4	石油製品	0.2	熱可塑性樹脂	43.0
銑鉄	1.0	石油化学基礎製品	0.7	石油化学基礎製品	0.3	石油化学基礎製品	0.1	石油化学基礎製品	30.3
石油化学系芳香族製品	0.8	脂肪族中間物	0.3	洋紙・和紙	0.2	その他計	1.3	石炭製品	28.1
脂肪族中間物	0.7	洋紙・和紙	0.3	自家旅客輸送	0.2			石油製品	22.3
洋紙・和紙	0.5	自家旅客輸送	0.3	自家貨物輸送	0.1			プラスチック製品	22.2
自家旅客輸送	0.5	石油化学系芳香族製品	0.3	脂肪族中間物	0.1			銑鉄	20.5
自家貨物輸送	0.5	自家貨物輸送	0.3	道路貨物輸送	0.1			自家貨物輸送	20.3
ソーダ工業製品	0.4	道路貨物輸送	0.2	その他計	1.7			環式中間物	15.5
道路貨物輸送	0.4	セメント	0.2					脂肪族中間物	14.4
沿海・内水面輸送	0.3	沿海・内水面輸送	0.2					沿海・内水面輸送	13.2
セメント	0.3	ソーダ工業製品	0.2					自家旅客輸送	10.3
原油	0.3	原油	0.2					他合成樹脂	9.5
環式中間物	0.3	他窯業・土石製品	0.1					石油化学系芳香族製品	8.0
分類不明	0.2	分類不明	0.1					洋紙・和紙	6.3
廃棄物処理(産業)	0.2	廃棄物処理(産業)	0.1					分類不明	6.1
パルプ	0.2	パルプ	0.1					アルミニウム	5.9
他窯業・土石製品	0.2	環式中間物	0.1					セメント	5.3
航空輸送	0.2	粗鋼(転炉)	0.1					航空輸送	4.2
熱可塑性樹脂	0.2	航空輸送	0.1					非鉄金属鉱物	4.1
他無機化学工業製品	0.2	その他計	1.5					ソーダ工業製品	4.0
板紙	0.1							高機能性樹脂	3.9
粗鋼(転炉)	0.1							他無機化学工業製品	3.7
塩	0.1							卸売	3.7
フェロアロイ	0.1							熱間圧延鋼材	3.6
アンモニア	0.1							粗鋼(転炉)	3.5
熱間圧延鋼材	0.1							港湾運送	3.3
その他計	1.9							他窯業・土石製品	3.3
								熱硬化性樹脂	3.3
								廃棄物処理(産業)	3.3
								可塑剤	2.4
								フェロアロイ	2.3
								メタン誘導品	1.9
								粗鋼(電気炉)	1.8
								ガラス繊維・同製品	1.7
								ハイヤー・タクシー	1.7
								原油	1.6
								板紙	1.5
								他非鉄金属地金	1.5
								アンモニア	1.5
								合成ゴム	1.5
								パルプ	1.4
								企業内研究開発	1.4
								板・安全ガラス	1.3
								倉庫	1.1
								不動産賃貸業	1.1
								他有機化学工業製品	0.9
								その他計	18.8
合計	28.7	合計	15.0	合計	7.9	合計	4.3	合計	732.3
累積	700.0	累積	715.0	累積	722.9	累積	727.2	累積	732.3

表 32: 軌道間人員輸送機１機に使用された素材の製造によるCO_2排出量

(単位：t-CO_2)

直接効果		間接１次効果		間接２次効果		間接３次効果		間接４次効果	
アルミニウム	118.3	自家発電	55.6	事業用発電	32.2	事業用発電	16.8	事業用発電	7.1
道路貨物輸送	5.7	事業用発電	36.0	銑鉄	26.5	石炭製品	15.3	自家発電	3.4
熱間圧延鋼材	4.7	アルミニウム	25.2	自家発電	23.2	自家発電	10.1	石炭製品	3.0
銅	1.3	他非鉄金属地金	11.3	自家貨物輸送	6.4	自家貨物輸送	4.4	自家貨物輸送	1.6
卸売	0.9	石炭製品	7.4	石炭製品	5.4	石油製品	1.4	石油製品	0.9
沿海・内水面輸送	0.6	ソーダ工業製品	5.5	アルミニウム	5.4	セメント	1.2	セメント	0.5
通運	0.2	粗鋼(転炉)	4.5	他非鉄金属地金	3.6	アルミニウム	1.2	自家旅客輸送	0.5
その他計	0.2	粗鋼(電気炉)	2.3	フェロアロイ	2.9	自家旅客輸送	1.0	洋紙・和紙	0.4
		道路貨物輸送	2.1	ソーダ工業製品	1.8	他非鉄金属地金	0.9	沿海・内水面輸送	0.3
		炭素・黒鉛製品	1.8	石油製品	1.7	沿海・内水面輸送	0.6	道路貨物輸送	0.3
		石油製品	1.7	自家旅客輸送	1.6	道路貨物輸送	0.5	アルミニウム	0.3
		非鉄金属鉱物	1.6	セメント	1.4	洋紙・和紙	0.5	他非鉄金属地金	0.2
		自家旅客輸送	1.5	非鉄金属鉱物	1.2	ソーダ工業製品	0.5	廃棄物処理(産業)	0.2
		沿海・内水面輸送	1.2	道路貨物輸送	1.1	鉄鉱石	0.4	航空輸送	0.2
		自家貨物輸送	1.2	沿海・内水面輸送	0.9	廃棄物処理(産業)	0.4	分類不明	0.2
		分類不明	1.1	塩	0.8	分類不明	0.4	ソーダ工業製品	0.2
		卸売	0.5	他窯業・土石製品	0.8	他窯業・土石製品	0.3	板紙	0.1
		航空輸送	0.5	分類不明	0.7	航空輸送	0.3	他窯業・土石製品	0.1
		港湾運送	0.4	炭素・黒鉛製品	0.5	非鉄金属鉱物	0.3	パルプ	0.1
		企業内研究開発	0.3	航空輸送	0.5	塩	0.3	原油	0.1
		他無機化学工業製品	0.3	廃棄物処理(産業)	0.4	原油	0.1	その他計	2.1
		ハイヤー・タクシー	0.2	港湾運送	0.3	板紙	0.1		
		他非金属鉱物	0.2	洋紙・和紙	0.3	ハイヤー・タクシー	0.1		
		その他計	1.2	企業内研究開発	0.2	企業内研究開発	0.1		
				卸売	0.2	港湾運送	0.1		
				ハイヤー・タクシー	0.2	炭素・黒鉛製品	0.1		
				原油	0.1	その他計	2.3		
				他無機化学工業製品	0.1				
				コールタール製品	0.1				
				廃棄物処理(公営)	0.1				
				その他計	2.0				
合計	131.8	合計	163.3	合計	122.6	合計	59.9	合計	21.8
累積	131.8	累積	295.1	累積	417.7	累積	477.7	累積	499.5

注１）上位50位かつ排出量0.1t-CO_2以上の財について表示.

注２）国内および海外でのマテリアル生産からのCO_2排出は含まれているが，外洋輸送からのCO_2排出は含まれていない.

表 32: （続）軌道間人員輸送機１機に使用された素材の製造によるCO_2排出量

(単位：t-CO_2)

間接５次効果		間接６次効果		間接７次効果		間接８次効果		直接間接合計	
事業用発電	2.7	事業用発電	1.3	事業用発電	0.7	事業用発電	0.4	アルミニウム	150.4
自家発電	2.2	自家発電	0.9	自家発電	0.4	石炭製品	0.2	事業用発電	97.4
石炭製品	0.8	石炭製品	0.4	銑鉄	0.3	銑鉄	0.2	自家発電	96.3
自家貨物輸送	0.5	銑鉄	0.4	石炭製品	0.3	自家発電	0.2	石炭製品	33.3
石油製品	0.4	石油製品	0.2	その他計	1.1	その他計	0.6	銑鉄	28.0
銑鉄	0.3	自家貨物輸送	0.2					他非鉄金属地金	16.2
洋紙・和紙	0.3	洋紙・和紙	0.2					自家貨物輸送	14.3
自家旅客輸送	0.3	自家旅客輸送	0.1					道路貨物輸送	10.1
セメント	0.2	その他計	1.4					ソーダ工業製品	8.1
道路貨物輸送	0.1							石油製品	6.5
沿海・内水面輸送	0.1							自家旅客輸送	5.2
その他計	2.1							熱間圧延鋼材	5.0
								粗鋼(転炉)	4.8
								沿海・内水面輸送	3.8
								セメント	3.5
								非鉄金属鉱物	3.3
								フェロアロイ	3.2
								分類不明	2.5
								炭素・黒鉛製品	2.5
								粗鋼(電気炉)	2.5
								洋紙・和紙	1.8
								卸売	1.7
								航空輸送	1.7
								他窯業・土石製品	1.4
								銅	1.4
								廃棄物処理(産業)	1.2
								塩	1.2
								港湾運送	0.9
								企業内研究開発	0.8
								他無機化学工業製品	0.6
								ハイヤー・タクシー	0.6
								原油	0.5
								板紙	0.5
								鉄鉱石	0.5
								パルプ	0.4
								石油化学基礎製品	0.3
								不動産賃貸業	0.3
								廃棄物処理(公営)	0.3
								脂肪族中間物	0.3
								他非金属鉱物	0.2
								通運	0.2
								他有機化学工業製品	0.2
								バス	0.2
								他対事業所サービス	0.2
								鋳鉄品及び鍛工品	0.2
								熱可塑性樹脂	0.2
								建設補修	0.2
								下水道	0.2
								石炭	0.2
								コールタール製品	0.2
								その他計	5.5
合計	10.0	合計	5.0	合計	2.8	合計	1.7	合計	521.1
累積	509.5	累積	514.5	累積	517.4	累積	519.1	累積	521.1

シリコン部品からのCO_2負荷は太陽電池の値を利用する。太陽発電衛星1基に使用される太陽電池、その製造によるCO_2負荷は15065417t-CO_2である。この約1千4百万t-CO_2という値を利用する。太陽発電衛星1基あたりのシリコン使用量は7903MT、軌道間貨物輸送機1機あたりのシリコン使用量は256MTである。軌道間貨物輸送機のシリコン部品は実質的には太陽電池であり、製造1単位あたりのシリコン使用量およびCO_2負荷は同じであるとする。計算すると軌道間貨物輸送機のシリコン部品製造によるCO_2負荷は約50万2千t-CO_2である。計算は次式のようになる。

$$\frac{\text{太陽発電衛星1基あたりのシリコン使用量}}{\text{軌道間貨物輸送機1機あたりのシリコン使用量}}=\frac{7903\ (MT\cdot silicon)}{256\ (MT\cdot silicon)}=30$$

$$15065417\ (t)\ \div 30=502180.56\ (t)$$

軌道間貨物輸送機のCO_2負荷合計は約50万4千t-CO_2である。計算は次式のようになる。

$$\underbrace{502180.56\ (t/\text{機})}_{\text{シリコン部品製造}}+\underbrace{1830.75\ (t/\text{機})}_{\text{機体製造（シリコン部品を除く）}}=\underbrace{504011.31\ (t/\text{機})}_{\text{機体製造合計}}$$

軌道間貨物輸送機以外の宇宙輸送機については、素材の製造によるCO_2負荷計算結果に、航空機部門の素材比率(= 2.5)を用いて、機体完成までの全行程からのCO_2負荷をもとめた。その結果をまとめたのが表33である。

表 33: SPSで使用される宇宙輸送機1機の製造からのCO_2負荷
（単位：t-CO_2／機）

	素材製造からのCO_2負荷	機体完成までの全工程からのCO_2負荷
大量打ち上げロケット	5498.3	13745.75
人員打ち上げロケット	1239.4	3098.50
軌道間貨物輸送機	732.3	504011.31
軌道間人員輸送機	521.1	1302.75

注）軌道間貨物輸送機の素材製造からのCO_2負荷には、シリコン部品の負荷が含まれていない。

宇宙輸送機1機の製造からのCO_2負荷に、必要機数をかければ、宇宙輸送機の製造からのCO_2負荷合計がもとめられる。SPSに必要な宇宙輸送機の数は表34に示した。宇宙輸送機の製造からのCO_2負荷合計は表35に示した。これによればCO_2負荷合計は約1億t-CO_2となった。

表 34: SPSに必要な宇宙輸送機の数
（単位：機）

大量打ち上げロケット	300
人員打ち上げロケット	40
軌道間貨物輸送機	190
軌道間人員輸送機	30

表 35: 宇宙輸送機の製造によるCO_2負荷合計
(単位：1000t-CO_2)

大量打ち上げロケット	4124
人員打ち上げロケット	124
軌道間貨物輸送機	95762
軌道間人員輸送機	39
計	100049

5.2 宇宙輸送機の推進燃料製造、燃焼からのCO_2負荷

宇宙輸送機の推進燃料製造、燃焼からのCO_2負荷を計算するためには、SPSの建設、メンテナンスに必要な宇宙輸送機の推進燃料量のデータが必要である。そこでまず、宇宙輸送機の推進燃料量の計算から説明をはじめる。。表36は宇宙輸送機の機種別（大量打ち上げロケット、人員打ち上げロケット、軌道間貨物輸送機、軌道間人員輸送機の4種類）、推進燃料の種類別（水素、酸素、メタン、アルゴンの4種類）の飛行1回あたりに必要な推進燃料量が示されている。

表 36: 宇宙輸送機1回の飛行に必要な推進燃料量
(単位：MT／回)

	酸素	水素	メタン	アルゴン
大量打ち上げロケット	7192	340	1714	0
人員打ち上げロケット	1694	79	347	0
軌道間貨物輸送機	225	38	0	542
軌道間人員輸送機	432	72	0	0

出所： Franz & Cambel [6]p.490,Table 5.

飛行1回あたりに必要な推進燃料量に、飛行回数をかければ、SPS全体で必要な推進燃料量がもとめられる。機種別に必要飛行回数をみていこう。飛行には大きく分けて(1)静止軌道上の建設基地の建設、(2)太陽発電衛星の建設、(3)メンテナンスの3つの目的がある。表37には低軌道上の建設基地の建設に必要な飛行回数が示されている。

表 37: 静止軌道上の建設基地の建設に必要な宇宙輸送機の飛行回数 (単位：回数)

大量打ち上げロケット	118
人員打ち上げロケット	32
軌道間貨物輸送機	3
軌道間人員輸送機	6

出所： Franz & Cambel[6],p.487,Table 1.

表38には太陽発電衛星の建設に必要な飛行回数が示されている。Franz & Cambel[6] には太陽発電衛星2基あたりの必要飛行回数が示されていた。SPS全体では60基の衛星を建設する。衛星2基あたりの必要飛行回数を、単純に30倍して衛星60基あたりの必要飛行回数とした。また同参考文献には、シリコン太陽電池とガリウム＝アルミニウム＝砒素太陽電池の2つのケースについて必要飛行回数が示されていた。ここではシリコン太陽電池のケースを用いている。

表 38: 太陽発電衛星の建設に必要な
宇宙輸送機の飛行回数　(単位：回)

	2基建設	60基建設
大量打ち上げロケット	375	11250
人員打ち上げロケット	30	900
軌道間貨物輸送機	30	900
軌道間人員輸送機	12	360

出所： Franz & Cambel [6],p.487,Table 1.

表39にはメンテナンスのために必要な飛行回数が示されている。Franz & Cambel[6] にはメンテナンスのための飛行スケジュールが示されている。飛行スケジュールには第1年目から第60年目までの60年間にわたっている。第1年目には大量打ち上げロケットが2回、人員打ち上げロケットが4回、軌道間貨物輸送機が1回、軌道間人員貨物輸送機が2回、飛行する計画になっている。第1年目から第30年目までは飛行回数が徐々に増加する。スケジュールを通じて最も飛行回数が多いのは第30年目であり、大量打ち上げロケットが60回、人員打ち上げロケットが16回、軌道間貨物輸送機が7回、軌道間人員貨物輸送機が8回、飛行する計画になっている。第30年目を過ぎると飛行回数は減っていく。第60年目には、大量打ち上げロケット、軌道間貨物輸送機の飛行計画はなく、人員打ち上げロケットが2回、軌道間人員貨物輸送機が2回、飛行する計画になっている。表39に示されているのは全期間の飛行回数合計である。

表 39: メンテナンスのために必要な
宇宙輸送機の飛行回数　(単位：回)

大量打ち上げロケット	1826
人員打ち上げロケット	598
軌道間貨物輸送機	232
軌道間人員輸送機	358

出所： Franz & Cambel[6],p.491,Table 6.

低軌道上の建設基地の建設、太陽発電衛星の建設、メンテナンスに必要な飛行回数をみてきた。以上の飛行回数を合計して、SPS全体で必用な飛行回数をもとめ、表40に示した。

表 40: SPSの建設、メンテナンスのために必要な
宇宙輸送機の飛行回数合計　(単位：回)

大量打ち上げロケット	13194
人員打ち上げロケット	1530
軌道間貨物輸送機	1135
軌道間人員輸送機	724

表36に示された飛行1回あたりに必要な推進燃料量に、表40に示された飛行回数をかけてSPS全体で必要な推進燃料量をもとめ、表41に示した。SPS全体で必要な推進燃料量（「計」の行）をみると水素が約9千8百万MT、酸素が約5百万MT、メタンが約2千3百万MT、アルゴンが約60万MTである。

次に推進燃料の製造・燃焼からのCO_2負荷を計算する。まず水素を考える。水素1tあたり製造に必要なメタンの量は約2.45tである。このとき、水素1tの製造に伴って約6.73t-CO_2排出されることになる。またメタンの生産時にも負荷がかかるが、それは約0.19t-CO_2である。さらに宇宙輸送機で用いるためには、水素を液化しなければならない。水素1t液化するのに、CO_2は約11.69t排出される。以上をトータルすると

表 41: SPSの建設、メンテナンスのために必要な宇宙輸送機の推進燃料量　(単位：1000MT)

	酸素	水素	メタン	アルゴン
大量打ち上げロケット	94891	4486	22615	0
人員打ち上げロケット	2592	121	531	0
軌道間貨物輸送機	255	43	0	615
軌道間人員輸送機	313	52	0	0
計	98051	4702	23145	615

水素製造1tあたり $6.73 + 0.19 + 11.69 = 18.61$ (t-CO_2) が排出されることになる。次に酸素とアルゴンを考える。圧縮ガス・液化ガスの生産百万円あたり排出量は12t-CO_2である。酸素の単価は19000円／tであるから、酸素製造1tあたりでは約0.23t-CO_2が排出される。アルゴンの単価は75650円／tであるから、アルゴン製造1tあたりでは約0.91t-CO_2が排出される。最後にメタンを考える。メタンの場合は、製造時だけでなく、飛行するときの燃焼によっても排出される。メタン製造・燃焼1tあたりでは約2.77t-CO_2が排出される。以上の推進燃料の製造・燃焼1tあたりCO_2排出を表42にまとめた。

表 42: 推進燃料の製造・燃焼1tあたりCO_2排出量
(単位：t-CO_2／t)

酸素	0.23
水素	18.61
メタン	2.77
アルゴン	0.91

表41に示されたSPS全体で必要な推進燃料に、表42の推進燃料の製造・燃焼1tあたりCO_2排出をかければ、推進燃料の製造・燃焼からのCO_2排出がもとまる。計算結果は以下のとおりである。

表 43: 推進燃料の製造・燃焼からのCO_2排出量
(単位：1000t-CO_2t)

酸素	22552
水素	87506
メタン	64113
アルゴン	560
計	174730

6　低軌道基地、静止軌道上の建設基地、衛星

SPSを静止軌道上に打ち上げるのは二段階に分けて行われる。まず低軌道上に打ち上げ、次に静止軌道まで輸送する。低軌道から静止軌道への中継基地になるのが低軌道基地であり、2基建設される。静止軌道上では、建設基地を拠点にして、太陽電池パネルが並べられ、太陽発電衛星が組み立てられていく。

これらのCO_2負荷計算は、宇宙輸送機の製造によるCO_2負荷計算で示した手順と同様にして行った。表44に、低軌道基地、静止軌道上の建設基地、衛星（太陽電池パネルを除く）の資材の製造によるCO_2負荷を1基あたりで示した。波及の詳細については表46- 48に示した。

表 44: 低軌道基地、静止軌道上の建設基地、衛星に使用された資材の製造1基あたりのCO_2負荷、必要な基数

	1基あたりCO_2負荷 (単位:t／基)	必要な基数 (単位：基)
低軌道基地	10790	2
静止軌道上の建設基地	37332	2
衛星	94942	60

注）衛星からのCO_2負荷には、太陽電池パネルの負荷が含まれていない。

前に述べたように、この値は機体に使用された素材の製造によるCO_2であり、素材から先の工程で投入された各種の財貨・サービスからのCO_2排出は含まれていない。そこで宇宙輸送機と同様な方法でそれを補った。すなわち、素材の製造からのCO_2負荷と、素材の製造も含めた地上における全工程からのCO_2負荷の比率を考え、これを素材比率（＝2.5）とする。航空機部門の素材比率と、低軌道基地、建設基地、衛星の同比率が同じであると仮定するのである。表45は低軌道基地、静止軌道上の建設基地、衛星の建設からのCO_2負荷合計を示したものである。

表 45: 低軌道基地、静止軌道上の建設基地、衛星の建設からのCO_2負荷合計
（単位：1000t-CO_2）

	素材製造からのCO_2負荷	地上における全工程からのCO_2負荷
低軌道基地	22	54
静止軌道上の建設基地	75	187
衛星	5696	14241

注）衛星からのCO_2負荷には、太陽電池パネルの負荷が含まれていない。

表 46: 低軌道基地１基に使用された素材の製造からのCO_2排出量

(単位：t-CO_2)

直接効果		間接１次効果		間接２次効果		間接３次効果		間接４次効果	
アルミニウム	2093.2	自家発電	973.1	事業用発電	652.5	事業用発電	354.7	事業用発電	157.0
道路貨物輸送	347.8	事業用発電	897.0	自家発電	480.2	自家発電	225.4	自家発電	95.0
プラスチック製品	87.0	アルミニウム	445.0	銑鉄	123.7	石炭製品	133.9	石炭製品	54.0
沿海・内水面輸送	35.4	他非鉄金属地金	200.3	自家貨物輸送	114.9	自家貨物輸送	81.2	石油製品	35.4
卸売	27.2	熱可塑性樹脂	167.2	石炭製品	101.6	石油製品	53.0	自家貨物輸送	28.2
熱間圧延鋼材	21.9	石炭製品	117.6	アルミニウム	95.1	石油化学基礎製品	44.2	石油化学基礎製品	21.4
銅	17.1	ソーダ工業製品	97.1	石油化学基礎製品	74.7	セメント	24.0	自家旅客輸送	11.5
港湾運送	13.2	道路貨物輸送	49.5	他非鉄金属地金	64.6	自家旅客輸送	22.6	石油化学系芳香族製品	11.3
倉庫	5.8	石油製品	46.4	環式中間物	51.4	石油化学系芳香族製品	21.3	洋紙・和紙	11.0
通運	4.7	自家旅客輸送	43.7	石油製品	40.9	アルミニウム	20.6	セメント	10.5
鉄道貨物輸送	2.3	他合成樹脂	36.6	熱可塑性樹脂	38.5	脂肪族中間物	19.6	脂肪族中間物	9.6
その他計	0.0	自家貨物輸送	33.5	ソーダ工業製品	35.8	環式中間物	17.9	沿海・内水面輸送	8.0
		沿海・内水面輸送	32.3	自家旅客輸送	35.0	他非鉄金属地金	16.5	道路貨物輸送	7.7
		分類不明	31.5	脂肪族中間物	31.1	道路貨物輸送	15.1	ソーダ工業製品	6.5
		炭素・黒鉛製品	31.5	道路貨物輸送	30.8	ソーダ工業製品	14.9	銑鉄	5.6
		非鉄金属鉱物	28.2	セメント	24.6	洋紙・和紙	14.5	環式中間物	5.5
		粗鋼(転炉)	21.0	沿海・内水面輸送	22.2	沿海・内水面輸送	14.0	アルミニウム	4.9
		プラスチック製品	19.3	非鉄金属鉱物	20.6	熱可塑性樹脂	9.7	廃棄物処理(産業)	4.5
		航空輸送	15.8	分類不明	16.8	分類不明	9.0	分類不明	4.4
		高機能性樹脂	15.3	塩	13.7	廃棄物処理(産業)	8.3	航空輸送	4.2
		熱硬化性樹脂	12.2	フェロアロイ	13.6	航空輸送	7.8	他非鉄金属地金	4.2
		粗鋼(電気炉)	10.8	航空輸送	11.9	他窯業・土石製品	6.4	原油	3.8
		卸売	10.4	洋紙・和紙	11.7	非鉄金属鉱物	6.1	板紙	3.7
		可塑剤	9.3	他窯業・土石製品	11.1	塩	5.8	他窯業・土石製品	3.5
		他無機化学工業製品	8.6	廃棄物処理(産業)	11.0	他無機化学工業製品	5.4	パルプ	3.3
		脂肪族中間物	7.2	他無機化学工業製品	9.3	板紙	4.7	熱可塑性樹脂	3.2
		港湾運送	7.2	炭素・黒鉛製品	8.5	アンモニア	4.2	他無機化学工業製品	2.7
		ハイヤー・タクシー	6.9	他合成樹脂	8.5	企業内研究開発	3.4	塩	2.4
		企業内研究開発	6.6	港湾運送	5.9	原油	3.2	アンモニア	1.9
		洋紙・和紙	6.5	企業内研究開発	5.6	ハイヤー・タクシー	2.9	熱間圧延鋼材	1.7
		ガラス繊維・同製品	6.5	メタン誘導品	5.4	パルプ	2.5	粗鋼(転炉)	1.6
		不動産賃貸業	5.0	プラスチック製品	4.8	他合成樹脂	2.3	企業内研究開発	1.6
		廃棄物処理(産業)	4.1	卸売	4.7	他有機化学工業製品	2.2	ハイヤー・タクシー	1.6
		他非金属鉱物	3.0	ハイヤー・タクシー	4.4	卸売	2.0	非鉄金属鉱物	1.5
		他窯業・土石製品	2.9	原油	3.7	メタン誘導品	2.0	鋳鉄品及び鍛工品	1.2
		合成ゴム	2.8	高機能性樹脂	3.4	鉄鉱石	2.0	冷間仕上鋼材	1.1
		環式中間物	2.2	熱硬化性樹脂	3.3	港湾運送	2.0	他有機化学工業製品	1.0
		建設補修	2.0	合成ゴム	2.9	炭素・黒鉛製品	2.0	卸売	1.0
		廃棄物処理(公営)	2.0	下水道	2.4	熱間圧延鋼材	1.7	粗鋼(電気炉)	1.0
		バス	1.9	コールタール製品	2.4	プラスチック製品	1.5	他合成樹脂	0.9
		他対事業所サービス	1.7	他有機化学工業製品	2.4	鋳鉄品及び鍛工品	1.5	他対事業所サービス	0.9
		無機顔料	1.5	廃棄物処理(公営)	2.2	コールタール製品	1.5	石炭	0.8
		硫酸	1.5	石油化学系芳香族製品	2.2	廃棄物処理(公営)	1.4	合成ゴム	0.8
		メタン誘導品	1.3	可塑剤	2.2	他対事業所サービス	1.4	フェロアロイ	0.7
		情報サービス	1.0	不動産賃貸業	2.1	不動産賃貸業	1.4	メタン誘導品	0.7
		下水道	1.0	板紙	2.1	下水道	1.3	不動産賃貸業	0.7
		金融	1.0	他対事業所サービス	2.1	バス	1.2	プラスチック製品	0.7
		小売	1.0	バス	1.8	合成ゴム	1.2	港湾運送	0.7
		都市ガス	1.0	アンモニア	1.8	冷間仕上鋼材	1.1	廃棄物処理(公営)	0.6
		合成染料	1.0	パルプ	1.7	粗鋼(転炉)	1.0	他化学最終製品	0.6
		その他計	20.3	その他計	42.3	その他計	33.0	その他計	20.4
合計	2655.6	合計	3452.1	合計	2266.1	合計	1236.5	合計	566.9
累積	2655.6	累積	6107.7	累積	8373.8	累積	9610.3	累積	10177.2

注１）上位50位かつ排出量0.1t-CO_2以上の財について表示.
注２）国内および海外でのマテリアル生産からのCO_2排出は含まれているが，外洋輸送からのCO_2排出は含まれていない.

表 46: （続）低軌道基地１基に使用された素材の製造からのCO_2排出量

(単位：t-CO_2)

間接５次効果		間接６次効果		間接７次効果		間接８次効果		直接間接合計	
事業用発電	73.4	事業用発電	37.1	事業用発電	19.3	事業用発電	10.4	アルミニウム	2661.6
自家発電	51.2	自家発電	25.3	自家発電	12.7	自家発電	6.6	事業用発電	2213.7
石炭製品	24.4	石炭製品	13.9	石炭製品	9.3	石炭製品	6.2	自家発電	1877.5
石油製品	16.7	銑鉄	9.9	銑鉄	7.9	銑鉄	5.4	石炭製品	470.3
自家貨物輸送	9.8	石油製品	7.5	石油製品	3.5	石油製品	1.7	道路貨物輸送	459.4
銑鉄	9.7	石油化学基礎製品	4.3	洋紙・和紙	2.1	洋紙・和紙	1.1	他非鉄金属地金	287.7
石油化学基礎製品	9.5	洋紙・和紙	3.9	石油化学基礎製品	2.0	石油化学基礎製品	1.0	自家貨物輸送	275.3
洋紙・和紙	6.9	自家貨物輸送	3.9	自家貨物輸送	1.8	自家貨物輸送	0.9	熱可塑性樹脂	221.8
自家旅客輸送	6.1	自家旅客輸送	3.2	自家旅客輸送	1.6	自家旅客輸送	0.9	石油製品	206.9
セメント	4.8	セメント	2.3	道路貨物輸送	1.2	道路貨物輸送	0.6	銑鉄	168.7
脂肪族中間物	4.5	脂肪族中間物	2.1	セメント	1.1	フェロアロイ	0.6	ソーダ工業製品	160.4
石油化学系芳香族製品	4.4	道路貨物輸送	2.1	脂肪族中間物	1.0	粗鋼(転炉)	0.6	石油化学基礎製品	158.1
道路貨物輸送	4.0	沿海・内水面輸送	1.8	フェロアロイ	0.9	脂肪族中間物	0.5	自家旅客輸送	125.5
沿海・内水面輸送	3.8	石油化学系芳香族製品	1.7	粗鋼(転炉)	0.9	セメント	0.5	沿海・内水面輸送	119.4
ソーダ工業製品	3.0	ソーダ工業製品	1.5	沿海・内水面輸送	0.9	沿海・内水面輸送	0.5	プラスチック製品	113.9
パルプ	2.5	パルプ	1.5	パルプ	0.8	他窯業・土石製品	0.5	環式中間物	81.0
原油	2.5	粗鋼(転炉)	1.3	他窯業・土石製品	0.8	パルプ	0.4	脂肪族中間物	76.3
分類不明	2.4	他窯業・土石製品	1.3	ソーダ工業製品	0.8	ソーダ工業製品	0.4	セメント	68.4
廃棄物処理(産業)	2.3	分類不明	1.2	石油化学系芳香族製品	0.7	石油化学系芳香族製品	0.3	分類不明	66.7
航空輸送	2.2	廃棄物処理(産業)	1.2	分類不明	0.6	熱間圧延鋼材	0.3	洋紙・和紙	59.0
他窯業・土石製品	2.1	航空輸送	1.2	航空輸送	0.6	分類不明	0.3	非鉄金属鉱物	57.0
環式中間物	2.0	原油	1.2	廃棄物処理(産業)	0.6	航空輸送	0.3	他合成樹脂	49.3
板紙	1.8	フェロアロイ	1.1	熱間圧延鋼材	0.6	粗鋼(電気炉)	0.3	卸売	46.4
粗鋼(転炉)	1.7	板紙	1.0	原油	0.5	廃棄物処理(産業)	0.3	航空輸送	44.4
アルミニウム	1.5	熱間圧延鋼材	0.9	板紙	0.5	板紙	0.3	炭素・黒鉛製品	42.8
熱可塑性樹脂	1.5	環式中間物	0.9	粗鋼(電気炉)	0.5	環式中間物	0.3	石油化学系芳香族製品	42.3
熱間圧延鋼材	1.4	熱可塑性樹脂	0.8	環式中間物	0.5	原油	0.2	廃棄物処理(産業)	32.6
他無機化学工業製品	1.4	粗鋼(電気炉)	0.7	熱可塑性樹脂	0.4	熱可塑性樹脂	0.2	熱間圧延鋼材	30.0
他非鉄金属地金	1.2	他無機化学工業製品	0.7	他無機化学工業製品	0.4	他無機化学工業製品	0.2	港湾運送	29.4
フェロアロイ	1.2	アルミニウム	0.6	冷間仕上鋼材	0.3	冷間仕上鋼材	0.2	他窯業・土石製品	29.2
塩	1.1	鋳鉄品及び鍛工品	0.6	鋳鉄品及び鍛工品	0.3	アルミニウム	0.2	他無機化学工業製品	28.9
鋳鉄品及び鍛工品	0.9	冷間仕上鋼材	0.5	アルミニウム	0.3	鋳鉄品及び鍛工品	0.2	粗鋼(転炉)	28.9
粗鋼(電気炉)	0.9	塩	0.5	ハイヤー・タクシー	0.2	鉄鉱石	0.1	塩	24.0
ハイヤー・タクシー	0.9	他非鉄金属地金	0.5	塩	0.2	ハイヤー・タクシー	0.1	高機能性樹脂	20.2
企業内研究開発	0.8	ハイヤー・タクシー	0.5	他非鉄金属地金	0.2	塩	0.1	フェロアロイ	19.4
冷間仕上鋼材	0.8	企業内研究開発	0.4	企業内研究開発	0.2	他非鉄金属地金	0.1	企業内研究開発	18.9
アンモニア	0.7	合成ゴム	0.3	亜鉛	0.2	企業内研究開発	0.1	銅	18.4
合成ゴム	0.6	アンモニア	0.3	合成ゴム	0.2	亜鉛	0.1	ハイヤー・タクシー	17.6
卸売	0.5	亜鉛	0.3	鉄鉱石	0.2	その他計	2.4	熱硬化性樹脂	17.1
他対事業所サービス	0.5	卸売	0.3	アンモニア	0.2			原油	15.3
他合成樹脂	0.5	他合成樹脂	0.3	他合成樹脂	0.1			粗鋼(電気炉)	15.2
他有機化学工業製品	0.4	他対事業所サービス	0.3	卸売	0.1			板紙	14.6
亜鉛	0.4	他有機化学工業製品	0.2	他対事業所サービス	0.1			パルプ	13.2
非鉄金属鉱物	0.4	染色整理	0.2	めっき鋼材	0.1			可塑剤	12.3
不動産賃貸業	0.4	他化学最終製品	0.2	染色整理	0.1			メタン誘導品	10.0
他化学最終製品	0.4	不動産賃貸業	0.2	他有機化学工業製品	0.1			不動産賃貸業	9.9
プラスチック製品	0.3	プラスチック製品	0.2	その他計	3.6			アンモニア	9.2
染色整理	0.3	めっき鋼材	0.2					合成ゴム	9.0
石炭	0.3	自動車部品	0.2					ガラス繊維・同製品	8.9
メタン誘導品	0.3	鉄鉱石	0.2					他有機化学工業製品	7.2
その他計	11.2	その他計	6.0					その他計	196.7
合計	282.5	合計	148.3	合計	81.3	合計	45.6	合計	10790.0
累積	10459.7	累積	10608.0	累積	10689.3	累積	10734.9	累積	10790.0

表 47: 静止軌道上の建設基地１基に使用された素材の製造からのCO_2排出量

(単位：t-CO_2)

直接効果		間接１次効果		間接２次効果		間接３次効果		間接４次効果	
アルミニウム	6856.5	自家発電	3199.4	事業用発電	2236.8	事業用発電	1225.1	事業用発電	552.3
道路貨物輸送	1322.7	事業用発電	3152.5	自家発電	1641.5	自家発電	784.7	自家発電	337.4
プラスチック製品	346.7	アルミニウム	1457.7	銑鉄	446.8	石炭製品	466.9	石炭製品	193.5
沿海・内水面輸送	134.9	熱可塑性樹脂	666.5	自家貨物輸送	384.4	自家貨物輸送	268.8	石油製品	131.3
卸売	98.0	他非鉄金属地金	656.2	石炭製品	338.1	石油製品	194.7	自家貨物輸送	94.4
熱間圧延鋼材	79.2	石炭製品	388.1	アルミニウム	311.8	石油化学基礎製品	176.1	石油化学基礎製品	84.7
銅	72.2	ソーダ工業製品	318.2	石油化学基礎製品	297.7	石油化学系芳香族製品	84.8	石油化学系芳香族製品	44.6
港湾運送	52.1	道路貨物輸送	171.9	他非鉄金属地金	211.9	セメント	80.7	自家旅客輸送	39.8
倉庫	22.7	石油製品	164.0	環式中間物	204.9	自家旅客輸送	77.8	洋紙・和紙	38.8
通運	16.4	自家旅客輸送	155.9	熱可塑性樹脂	153.2	脂肪族中間物	77.4	脂肪族中間物	37.8
鉄道貨物輸送	7.9	他合成樹脂	145.9	石油製品	142.1	環式中間物	71.3	セメント	35.7
その他計	0.0	自家貨物輸送	119.6	脂肪族中間物	123.9	アルミニウム	67.7	沿海・内水面輸送	28.2
		沿海・内水面輸送	114.1	自家旅客輸送	120.8	他非鉄金属地金	54.2	道路貨物輸送	27.3
		分類不明	112.9	ソーダ工業製品	120.2	道路貨物輸送	54.0	ソーダ工業製品	24.0
		炭素・黒鉛製品	103.2	道路貨物輸送	109.4	ソーダ工業製品	53.1	環式中間物	21.6
		非鉄金属鉱物	93.9	セメント	82.0	洋紙・和紙	52.0	銑鉄	21.3
		プラスチック製品	76.8	沿海・内水面輸送	78.6	沿海・内水面輸送	49.4	アルミニウム	16.3
		粗鋼(転炉)	75.7	非鉄金属鉱物	67.4	熱可塑性樹脂	38.2	廃棄物処理(産業)	15.9
		高機能性樹脂	61.1	分類不明	58.8	分類不明	31.7	分類不明	15.7
		航空輸送	57.5	フェロアロイ	49.1	廃棄物処理(産業)	28.9	航空輸送	14.6
		熱硬化性樹脂	48.5	塩	45.1	航空輸送	27.0	他非鉄金属地金	13.9
		粗鋼(電気炉)	38.9	洋紙・和紙	43.1	他窯業・土石製品	23.0	原油	13.8
		可塑剤	36.9	航空輸送	41.5	他無機化学工業製品	20.7	板紙	13.1
		卸売	35.4	他窯業・土石製品	39.8	非鉄金属鉱物	19.9	他窯業・土石製品	12.7
		他無機化学工業製品	30.9	廃棄物処理(産業)	38.7	塩	19.5	熱可塑性樹脂	12.2
		脂肪族中間物	28.9	他無機化学工業製品	35.5	板紙	17.3	パルプ	11.7
		ガラス繊維・同製品	26.0	他合成樹脂	33.7	アンモニア	16.5	他無機化学工業製品	10.0
		洋紙・和紙	25.9	炭素・黒鉛製品	28.0	企業内研究開発	12.2	塩	8.7
		ハイヤー・タクシー	25.3	メタン誘導品	21.3	原油	10.9	アンモニア	7.3
		港湾運送	23.8	企業内研究開発	19.7	ハイヤー・タクシー	9.9	熱間圧延鋼材	6.1
		企業内研究開発	22.1	港湾運送	19.4	パルプ	9.3	粗鋼(転炉)	5.9
		不動産賃貸業	18.7	プラスチック製品	18.7	他合成樹脂	9.1	企業内研究開発	5.8
		廃棄物処理(産業)	15.6	卸売	16.1	メタン誘導品	7.9	ハイヤー・タクシー	5.5
		他窯業・土石製品	11.4	ハイヤー・タクシー	15.5	他有機化学工業製品	7.8	非鉄金属鉱物	5.0
		合成ゴム	11.3	高機能性樹脂	13.7	鉄鉱石	7.2	鋳鉄品及び鍛工品	4.3
		他非金属鉱物	9.7	熱硬化性樹脂	13.2	卸売	7.1	冷間仕上鋼材	3.8
		環式中間物	8.7	原油	13.0	港湾運送	6.6	他有機化学工業製品	3.6
		建設補修	7.3	合成ゴム	11.4	炭素・黒鉛製品	6.5	卸売	3.5
		廃棄物処理(公営)	7.3	石油化学系芳香族製品	8.7	熱間圧延鋼材	6.0	粗鋼(電気炉)	3.4
		バス	6.9	他有機化学工業製品	8.6	プラスチック製品	5.8	他合成樹脂	3.4
		他対事業所サービス	6.3	可塑剤	8.6	コールタール製品	5.5	他対事業所サービス	3.0
		無機顔料	6.0	下水道	8.6	鋳鉄品及び鍛工品	5.3	合成ゴム	2.9
		メタン誘導品	5.2	コールタール製品	8.3	他対事業所サービス	5.0	メタン誘導品	2.8
		硫酸	4.9	板紙	7.9	廃棄物処理(公営)	4.9	石炭	2.8
		下水道	4.0	廃棄物処理(公営)	7.6	不動産賃貸業	4.8	フェロアロイ	2.8
		合成染料	3.9	他対事業所サービス	7.5	合成ゴム	4.5	不動産賃貸業	2.5
		都市ガス	3.8	不動産賃貸業	7.3	下水道	4.4	プラスチック製品	2.4
		情報サービス	3.7	パルプ	6.7	バス	4.1	他化学最終製品	2.3
		小売	3.7	ガラス繊維・同製品	6.3	冷間仕上鋼材	4.0	港湾運送	2.2
		鉄道旅客輸送	3.5	バス	6.2	粗鋼(転炉)	3.7	廃棄物処理(公営)	2.2
		その他計	75.0	その他計	152.8	その他計	117.5	その他計	71.6
合計	9009.4	合計	11850.7	合計	7891.6	合計	4351.6	合計	2026.5
累積	9009.4	累積	20860.2	累積	28751.8	累積	33103.5	累積	35130.0

注１）上位50位かつ排出量0.1t-CO_2以上の財について表示.

注２）国内および海外でのマテリアル生産からのCO_2排出は含まれているが，外洋輸送からのCO_2排出は含まれていない.

表 47: （続）静止軌道上の建設基地１基に使用された素材の製造からのCO_2排出量

(単位：t-CO_2)

間接５次効果		間接６次効果		間接７次効果		間接８次効果		直接間接合計	
事業用発電	262.0	事業用発電	133.0	事業用発電	69.4	事業用発電	37.1	アルミニウム	8719.6
自家発電	184.4	自家発電	91.5	自家発電	45.8	自家発電	23.9	事業用発電	7711.8
石炭製品	89.0	石炭製品	50.7	石炭製品	33.1	石炭製品	22.1	自家発電	6336.8
石油製品	62.6	銑鉄	35.0	銑鉄	27.8	銑鉄	18.8	道路貨物輸送	1715.8
石油化学基礎製品	37.1	石油製品	28.1	石油製品	12.8	石油製品	6.2	石炭製品	1614.5
銑鉄	35.1	石油化学基礎製品	16.3	洋紙・和紙	7.4	洋紙・和紙	3.9	他非鉄金属地金	943.7
自家貨物輸送	33.4	洋紙・和紙	13.7	石油化学基礎製品	7.4	石油化学基礎製品	3.6	自家貨物輸送	927.8
洋紙・和紙	24.1	自家貨物輸送	13.5	自家貨物輸送	6.3	自家貨物輸送	3.3	熱可塑性樹脂	881.4
自家旅客輸送	21.4	自家旅客輸送	11.2	自家旅客輸送	5.8	自家旅客輸送	3.1	石油製品	748.4
脂肪族中間物	17.4	脂肪族中間物	8.0	道路貨物輸送	4.1	道路貨物輸送	2.2	石油化学基礎製品	626.5
石油化学系芳香族製品	17.2	セメント	8.0	脂肪族中間物	3.8	フェロアロイ	2.2	銑鉄	607.7
セメント	16.6	道路貨物輸送	7.6	セメント	3.8	粗鋼(転炉)	2.0	ソーダ工業製品	537.9
道路貨物輸送	14.1	石油化学系芳香族製品	6.4	沿海・内水面輸送	3.2	脂肪族中間物	1.9	プラスチック製品	453.0
沿海・内水面輸送	13.4	沿海・内水面輸送	6.4	フェロアロイ	3.2	セメント	1.8	自家旅客輸送	439.3
ソーダ工業製品	11.2	ソーダ工業製品	5.5	粗鋼(転炉)	3.2	沿海・内水面輸送	1.7	沿海・内水面輸送	431.7
原油	9.1	パルプ	5.1	パルプ	2.9	他窯業・土石製品	1.6	環式中間物	321.0
パルプ	8.7	他窯業・土石製品	4.7	他窯業・土石製品	2.8	パルプ	1.6	脂肪族中間物	301.0
分類不明	8.5	粗鋼(転炉)	4.7	ソーダ工業製品	2.8	ソーダ工業製品	1.4	分類不明	236.8
廃棄物処理(産業)	8.2	分類不明	4.5	石油化学系芳香族製品	2.7	石油化学系芳香族製品	1.3	セメント	230.6
航空輸送	7.8	原油	4.3	分類不明	2.3	熱間圧延鋼材	1.2	洋紙・和紙	213.2
他窯業・土石製品	7.6	廃棄物処理(産業)	4.2	航空輸送	2.2	分類不明	1.2	他合成樹脂	195.7
環式中間物	7.6	航空輸送	4.2	廃棄物処理(産業)	2.1	航空輸送	1.2	非鉄金属鉱物	188.5
板紙	6.5	フェロアロイ	4.0	熱間圧延鋼材	2.0	廃棄物処理(産業)	1.1	石油化学系芳香族製品	167.1
粗鋼(転炉)	5.9	板紙	3.5	原油	2.0	粗鋼(電気炉)	1.0	卸売	164.0
熱可塑性樹脂	5.3	環式中間物	3.3	板紙	1.8	板紙	1.0	航空輸送	157.3
アルミニウム	5.1	熱間圧延鋼材	3.3	環式中間物	1.7	原油	0.9	炭素・黒鉛製品	140.7
他無機化学工業製品	4.9	熱可塑性樹脂	2.7	粗鋼(電気炉)	1.7	環式中間物	0.9	廃棄物処理(産業)	115.9
熱間圧延鋼材	4.8	他無機化学工業製品	2.6	熱可塑性樹脂	1.5	熱可塑性樹脂	0.8	熱間圧延鋼材	108.1
他非鉄金属地金	4.2	粗鋼(電気炉)	2.5	他無機化学工業製品	1.4	他無機化学工業製品	0.7	他無機化学工業製品	107.5
フェロアロイ	4.2	アルミニウム	2.2	冷間仕上鋼材	1.2	冷間仕上鋼材	0.7	港湾運送	105.9
塩	3.9	鋳鉄品及び鍛工品	2.1	鋳鉄品及び鍛工品	1.2	アルミニウム	0.6	他窯業・土石製品	105.6
粗鋼(電気炉)	3.2	冷間仕上鋼材	1.8	アルミニウム	1.1	鋳鉄品及び鍛工品	0.6	粗鋼(転炉)	104.1
鋳鉄品及び鍛工品	3.2	塩	1.8	塩	0.9	ハイヤー・タクシー	0.5	塩	80.9
ハイヤー・タクシー	3.1	ハイヤー・タクシー	1.7	ハイヤー・タクシー	0.9	鉄鉱石	0.5	高機能性樹脂	80.3
企業内研究開発	3.0	他非鉄金属地金	1.6	企業内研究開発	0.8	塩	0.5	銅	77.3
冷間仕上鋼材	2.8	企業内研究開発	1.6	他非鉄金属地金	0.8	他非鉄金属地金	0.4	フェロアロイ	69.8
アンモニア	2.8	アンモニア	1.2	亜鉛	0.6	企業内研究開発	0.4	熱硬化性樹脂	67.8
合成ゴム	2.0	合成ゴム	1.2	合成ゴム	0.6	亜鉛	0.4	企業内研究開発	66.1
卸売	1.8	亜鉛	1.0	アンモニア	0.6	合成ゴム	0.3	ハイヤー・タクシー	62.8
他対事業所サービス	1.7	卸売	0.9	鉄鉱石	0.6	アンモニア	0.3	原油	55.0
他合成樹脂	1.7	他合成樹脂	0.9	他合成樹脂	0.5	他合成樹脂	0.3	粗鋼(電気炉)	54.7
他有機化学工業製品	1.6	他対事業所サービス	0.9	卸売	0.5	卸売	0.3	板紙	52.8
亜鉛	1.5	他有機化学工業製品	0.7	他対事業所サービス	0.5	他対事業所サービス	0.2	可塑剤	49.0
非鉄金属鉱物	1.4	他化学最終製品	0.7	めっき鋼材	0.4	めっき鋼材	0.2	パルプ	47.7
他化学最終製品	1.3	染色整理	0.7	染色整理	0.4	染色整理	0.2	メタン誘導品	39.6
不動産賃貸業	1.3	不動産賃貸業	0.7	他化学最終製品	0.4	石炭	0.2	不動産賃貸業	36.0
プラスチック製品	1.2	プラスチック製品	0.6	他有機化学工業製品	0.4	プラスチック製品	0.2	ガラス繊維・同製品	35.3
石炭	1.2	めっき鋼材	0.6	プラスチック製品	0.3	他化学最終製品	0.2	アンモニア	35.2
染色整理	1.2	鉄鉱石	0.6	不動産賃貸業	0.3	他有機化学工業製品	0.2	合成ゴム	34.4
メタン誘導品	1.2	石炭	0.6	石炭	0.3	不動産賃貸業	0.2	他有機化学工業製品	26.0
その他計	39.2	その他計	21.4	その他計	11.3	その他計	6.0	その他計	702.5
合計	1018.0	合計	534.1	合計	291.4	合計	162.5	合計	37332.2
累積	36148.0	累積	36682.0	累積	36973.4	累積	37136.0	累積	37332.2

表 48: 衛星１基に使用された素材の製造からのCO_2排出量

(単位：t-CO_2)

直接効果		間接１次効果		間接２次効果		間接３次効果		間接４次効果	
他非鉄金属地金	4968.7	事業用発電	8366.0	事業用発電	7675.3	石炭製品	3309.6	事業用発電	1321.3
銅	4512.4	自家発電	4618.2	銑鉄	6589.5	事業用発電	2521.6	石炭製品	669.5
道路貨物輸送	3912.7	熱可塑性樹脂	1661.5	自家発電	4018.6	自家発電	1477.7	自家発電	665.5
アルミニウム	3219.4	粗鋼(転炉)	1110.7	自家貨物輸送	2748.8	石油製品	621.8	石油製品	306.0
熱間圧延鋼材	1161.9	石炭製品	980.9	石油化学基礎製品	742.7	石油化学基礎製品	441.9	石油化学基礎製品	216.7
プラスチック製品	864.3	他非鉄金属地金	863.4	フェロアロイ	719.5	自家貨物輸送	386.6	自家貨物輸送	144.0
沿海・内水面輸送	355.1	非鉄金属鉱物	797.3	セメント	681.2	石油化学系芳香族製品	215.1	石油化学系芳香族製品	112.6
卸売	248.8	アルミニウム	684.4	環式中間物	511.2	脂肪族中間物	201.6	洋紙・和紙	100.6
小売	201.7	粗鋼(電気炉)	570.3	石炭製品	474.0	環式中間物	179.6	脂肪族中間物	97.2
港湾運送	134.6	自家旅客輸送	498.5	自家旅客輸送	455.6	自家旅客輸送	167.1	自家旅客輸送	93.1
倉庫	65.0	道路貨物輸送	393.3	熱可塑性樹脂	385.5	沿海・内水面輸送	156.6	沿海・内水面輸送	67.5
航空輸送	37.7	自家貨物輸送	392.4	石油製品	322.4	セメント	151.1	道路貨物輸送	65.6
通運	27.5	他合成樹脂	363.7	脂肪族中間物	310.9	洋紙・和紙	147.9	セメント	61.0
鉄道貨物輸送	12.7	石油製品	348.5	道路貨物輸送	238.4	道路貨物輸送	129.4	銑鉄	60.3
		分類不明	327.9	沿海・内水面輸送	185.3	鉄鉱石	106.7	環式中間物	55.1
		沿海・内水面輸送	302.2	他窯業・土石製品	169.3	熱可塑性樹脂	97.4	ソーダ工業製品	51.1
		プラスチック製品	193.2	他非鉄金属地金	166.1	ソーダ工業製品	91.4	原油	43.1
		ソーダ工業製品	188.6	アルミニウム	155.0	他窯業・土石製品	86.6	分類不明	38.0
		航空輸送	179.3	航空輸送	148.4	廃棄物処理(産業)	81.9	航空輸送	36.1
		港湾運送	167.3	廃棄物処理(産業)	144.8	分類不明	75.3	廃棄物処理(産業)	36.0
		高機能性樹脂	152.4	洋紙・和紙	130.4	他無機化学工業製品	58.1	パルプ	32.8
		銅	125.5	分類不明	124.0	航空輸送	57.8	熱可塑性樹脂	32.3
		熱硬化性樹脂	121.0	ソーダ工業製品	102.7	板紙	45.8	他窯業・土石製品	32.2
		可塑剤	92.0	他合成樹脂	84.8	アンモニア	40.5	板紙	30.4
		卸売	76.3	非鉄金属鉱物	83.9	他非鉄金属地金	38.7	他無機化学工業製品	25.3
		脂肪族中間物	72.0	他無機化学工業製品	83.6	アルミニウム	36.5	アンモニア	18.4
		ハイヤー・タクシー	70.0	企業内研究開発	54.9	パルプ	27.7	石炭	16.8
		炭素・黒鉛製品	67.8	メタン誘導品	53.2	原油	26.5	熱間圧延鋼材	15.3
		洋紙・和紙	67.4	他有機化学工業製品	50.3	企業内研究開発	25.1	粗鋼(転炉)	14.9
		ガラス繊維・同製品	64.8	ハイヤー・タクシー	49.3	他合成樹脂	23.2	塩	14.6
		不動産賃貸業	53.9	プラスチック製品	47.6	ハイヤー・タクシー	21.8	ハイヤー・タクシー	14.2
		企業内研究開発	52.6	廃棄物処理(公営)	36.4	メタン誘導品	20.1	企業内研究開発	13.1
		他窯業・土石製品	47.5	高機能性樹脂	34.5	他有機化学工業製品	19.1	アルミニウム	12.9
		廃棄物処理(産業)	46.9	炭素・黒鉛製品	33.5	フェロアロイ	18.2	他非鉄金属地金	12.1
		他無機化学工業製品	45.6	熱硬化性樹脂	33.1	塩	17.6	鋳鉄品及び鍛工品	10.8
		下水道	41.9	バス	29.8	非鉄金属鉱物	16.6	冷間仕上鋼材	9.3
		合成ゴム	28.2	合成ゴム	29.1	熱間圧延鋼材	15.3	合成ゴム	9.2
		建設補修	26.4	原油	28.7	プラスチック製品	15.2	他合成樹脂	9.2
		廃棄物処理(公営)	22.1	卸売	28.3	卸売	15.2	フェロアロイ	8.5
		環式中間物	21.7	塩	27.2	銑鉄	13.7	粗鋼(電気炉)	8.3
		バス	19.9	不動産賃貸業	25.8	他対事業所サービス	13.0	卸売	8.0
		他対事業所サービス	18.2	港湾運送	25.6	合成ゴム	12.4	他対事業所サービス	7.9
		都市ガス	17.6	下水道	24.9	コールタール製品	11.1	他有機化学工業製品	7.6
		無機顔料	14.9	板紙	24.4	冷間仕上鋼材	11.0	メタン誘導品	7.3
		他有機化学工業製品	14.0	火薬類	22.3	鋳鉄品及び鍛工品	10.8	プラスチック製品	6.6
		メタン誘導品	13.0	石油化学系芳香族製品	22.2	小売	10.2	他化学最終製品	6.2
		情報サービス	11.8	可塑剤	21.6	不動産賃貸業	10.1	不動産賃貸業	5.8
		アンモニア	11.8	鋳鍛鋼	20.4	港湾運送	9.9	下水道	5.6
		小売	10.4	他対事業所サービス	20.4	下水道	9.8	亜鉛	5.4
		鉄道旅客輸送	10.1	他教育訓練機関(産業)	19.0	廃棄物処理(公営)	9.6	板・安全ガラス	5.3
		その他計	210.9	その他計	432.7	その他計	327.8	その他計	175.0
合計	19722.6	合計	24656.3	合計	28647.1	合計	11635.4	合計	4821.5
累積	19722.6	累積	44378.8	累積	73025.9	累積	84661.3	累積	89482.8

注１）上位50位かつ排出量0.1t-CO_2以上の財について表示.

注２）国内および海外でのマテリアル生産からのCO_2排出は含まれているが，外洋輸送からのCO_2排出は含まれていない.

表 48: （続）衛星１基に使用された素材の製造からのCO_2排出量

（単位：t-CO_2）

間接５次効果		間接６次効果		間接７次効果		間接８次効果		直接間接合計	
事業用発電	618.1	事業用発電	316.3	事業用発電	168.6	事業用発電	91.9	事業用発電	21187.9
自家発電	549.8	自家発電	226.1	自家発電	112.0	自家発電	59.5	自家発電	11798.3
石炭製品	231.6	石炭製品	128.9	石炭製品	83.6	石炭製品	57.0	銑鉄	6992.0
石油製品	148.7	銑鉄	88.4	銑鉄	73.4	銑鉄	49.8	他非鉄金属地金	6061.6
石油化学基礎製品	95.9	石油製品	69.3	石油製品	31.8	石油製品	15.4	石炭製品	6020.2
銑鉄	87.6	石油化学基礎製品	42.6	石油化学基礎製品	19.3	洋紙・和紙	9.6	道路貨物輸送	4814.7
自家貨物輸送	62.3	洋紙・和紙	33.4	洋紙・和紙	18.2	石油化学基礎製品	9.1	銅	4650.0
洋紙・和紙	58.8	自家貨物輸送	27.1	自家貨物輸送	14.1	自家貨物輸送	7.9	アルミニウム	4125.6
自家旅客輸送	51.6	自家旅客輸送	26.6	自家旅客輸送	14.1	自家旅客輸送	7.5	自家貨物輸送	3793.2
脂肪族中間物	44.7	脂肪族中間物	20.7	道路貨物輸送	10.2	フェロアロイ	5.7	熱可塑性樹脂	2206.4
石油化学系芳香族製品	43.6	道路貨物輸送	18.7	脂肪族中間物	9.8	道路貨物輸送	5.5	石油製品	1880.3
セメント	38.4	セメント	17.6	セメント	8.6	粗鋼(転炉)	5.2	石油化学基礎製品	1577.4
道路貨物輸送	34.7	石油化学系芳香族製品	16.6	粗鋼(転炉)	8.4	脂肪族中間物	4.8	自家旅客輸送	1322.8
沿海・内水面輸送	30.8	沿海・内水面輸送	15.4	フェロアロイ	8.4	セメント	4.4	熱間圧延鋼材	1241.2
ソーダ工業製品	26.3	ソーダ工業製品	13.4	沿海・内水面輸送	7.8	沿海・内水面輸送	4.1	粗鋼(転炉)	1188.7
パルプ	21.9	パルプ	12.4	石油化学系芳香族製品	7.0	他窯業・土石製品	4.0	プラスチック製品	1133.6
分類不明	21.5	粗鋼(転炉)	12.3	他窯業・土石製品	7.0	パルプ	3.8	沿海・内水面輸送	1129.7
原油	21.3	他窯業・土石製品	12.0	パルプ	6.9	ソーダ工業製品	3.5	セメント	967.0
廃棄物処理(産業)	19.9	分類不明	10.8	ソーダ工業製品	6.8	石油化学系芳香族製品	3.3	非鉄金属鉱物	904.7
環式中間物	19.9	原油	10.3	分類不明	5.6	熱間圧延鋼材	3.2	環式中間物	805.6
他窯業・土石製品	19.4	フェロアロイ	10.1	熱間圧延鋼材	5.4	分類不明	2.9	フェロアロイ	788.6
航空輸送	18.7	廃棄物処理(産業)	10.0	航空輸送	5.3	航空輸送	2.8	脂肪族中間物	766.6
板紙	15.0	航空輸送	10.0	廃棄物処理(産業)	5.0	粗鋼(電気炉)	2.8	粗鋼(電気炉)	614.9
粗鋼(転炉)	14.8	環式中間物	9.0	原油	4.8	廃棄物処理(産業)	2.6	分類不明	609.3
熱可塑性樹脂	14.5	熱間圧延鋼材	8.7	板紙	4.5	板紙	2.4	洋紙・和紙	576.8
熱間圧延鋼材	12.7	板紙	8.2	粗鋼(電気炉)	4.4	環式中間物	2.3	航空輸送	499.4
他無機化学工業製品	12.3	熱可塑性樹脂	7.2	環式中間物	4.4	原油	2.2	他合成樹脂	490.7
フェロアロイ	10.3	粗鋼(電気炉)	6.6	熱可塑性樹脂	3.8	熱可塑性樹脂	2.0	ソーダ工業製品	487.5
鋳鉄品及び鍛工品	10.2	他無機化学工業製品	6.4	他無機化学工業製品	3.4	他無機化学工業製品	1.8	石油化学系芳香族製品	424.0
塩	8.3	鋳鉄品及び鍛工品	5.6	冷間仕上鋼材	3.2	冷間仕上鋼材	1.7	卸売	385.8
ハイヤー・タクシー	7.9	冷間仕上鋼材	4.9	鋳鉄品及び鍛工品	2.9	アルミニウム	1.5	他窯業・土石製品	383.0
粗鋼(電気炉)	7.9	アルミニウム	4.5	アルミニウム	2.8	鋳鉄品及び鍛工品	1.5	廃棄物処理(産業)	350.0
企業内研究開発	7.9	塩	4.3	塩	2.2	鉄鉱石	1.2	港湾運送	345.5
冷間仕上鋼材	7.2	ハイヤー・タクシー	4.1	ハイヤー・タクシー	2.1	ハイヤー・タクシー	1.1	他無機化学工業製品	238.5
合成ゴム	6.9	企業内研究開発	3.9	企業内研究開発	2.0	塩	1.1	小売	238.4
アルミニウム	6.8	他非鉄金属地金	3.1	他非鉄金属地金	1.8	他非鉄金属地金	1.0	高機能性樹脂	201.0
アンモニア	6.6	アンモニア	3.0	亜鉛	1.7	企業内研究開発	1.0	ハイヤー・タクシー	171.8
他非鉄金属地金	5.5	合成ゴム	2.8	アンモニア	1.5	亜鉛	0.9	熱硬化性樹脂	169.9
他合成樹脂	4.7	亜鉛	2.7	鉄鉱石	1.4	アンモニア	0.7	企業内研究開発	161.6
卸売	4.2	他合成樹脂	2.4	合成ゴム	1.4	合成ゴム	0.7	原油	139.3
他対事業所サービス	4.2	卸売	2.3	他合成樹脂	1.3	他合成樹脂	0.7	板紙	134.8
石炭	3.8	他対事業所サービス	2.2	卸売	1.2	卸売	0.7	パルプ	127.3
亜鉛	3.7	めっき鋼材	1.8	他対事業所サービス	1.1	他対事業所サービス	0.6	可塑剤	122.5
他有機化学工業製品	3.6	他化学最終製品	1.8	めっき鋼材	1.0	めっき鋼材	0.5	鉄鉱石	114.3
他化学最終製品	3.4	染色整理	1.8	染色整理	0.9	石炭	0.5	炭素・黒鉛製品	111.6
プラスチック製品	3.2	他有機化学工業製品	1.7	他化学最終製品	0.9	染色整理	0.5	不動産賃貸業	102.0
不動産賃貸業	3.1	プラスチック製品	1.7	プラスチック製品	0.9	プラスチック製品	0.5	メタン誘導品	99.5
メタン誘導品	3.0	不動産賃貸業	1.6	他有機化学工業製品	0.9	他化学最終製品	0.5	他有機化学工業製品	98.0
染色整理	2.9	自動車部品	1.5	不動産賃貸業	0.8	他有機化学工業製品	0.4	アンモニア	91.6
自動車部品	2.9	石炭	1.4	石炭	0.8	不動産賃貸業	0.4	合成ゴム	91.3
その他計	95.2	その他計	51.7	その他計	27.5	その他計	14.6	その他計	2005.1
合計	2558.5	合計	1305.7	合計	722.9	合計	409.2	合計	94941.5
累積	92041.3	累積	93346.9	累積	94069.8	累積	94479.0	累積	94941.5

7　結びにかえて

以上、できるだけ、リファレンスシステムに準じて、SPSのCO_2負荷計算を行った。それに基づけば、我が国の現存の電力需要をまかなうためには、5GWの太陽発電衛星が18基程度必要である。それをまかなうためには、4.7億t-CO_2程度のCO_2が排出されると計算された。我が国の1年間のCO_2排出量が12億t-CO_2程度であるから、SPSの立ち上げ時に相当程度のCO_2排出がなされることはまぎれもないことである。しかし、SPSを経常運転するときには、ほとんどCO_2が排出されないことから、電力1kWhあたりのCO_2排出量は、他の既存の発電方式と比べるときわめて小さな値となっている。なにしろSPSについては未来の技術であるので、レクテナの立地、地上送電の問題が定かではないが、ほぼ原子力発電のオーダーに近い、20kg／kWhとなっている。これは微粉炭火力発電の約600分の1、LNG火力の約300分の1である。次にCO_2排出の構成をみていくと、意外に驚くのは、ロケット打ち上げからのCO_2排出が相対的に小さいことである。むしろ太陽電池の製造からの排出がそれぞれ2.7億t-CO_2、レクテナの建設からの排出が1.2億t-CO_2であり、2つをあわせてトータルの8割程度となっていることが見い出された。

参考文献

[1] Andryczyk,R., Foldes,P., Chestek,J. and Kaupang,B. M.(1979) ,'Solar Power Satellite ground station',IEEE spectrum,July.

[2] DOE/ER-0023(1979), 'Reference System Report'

[3] Europea Space Agency(1980),'Study on Infrastructure Considerations for Microwave Energy Ground Receiving Stations:SPS offshore rectenna siting study in West-Europe', Contract Report.

[4] NASA(1970), 'Final Report on the Rectenna Structural Design and Arrangement Study', memorandum.

[5] Office of Technology Assessment(1981), 'Solar Power Satellite', OTA Report.

[6] Franz,C.C. and Cambel,A.B.(1981),"Net Energy Analysis of Space Power Satellites", *Energy(UK)*, vol.6,pp.485-501.

[7] Masafumi,Y.(1993),"Present Status and Future Prospects for Advanced Space Solar Cells", *Technical Digest of the International PVSEC-7*, Nagoya,Japan.

[8] シーエムシー(1993), *Yearbook of Markets in High-Tech Materials.*

[9] 稲葉　敦,他10名(1993),「太陽光発電システムのエネルギー評価」,『化学工学論文集』, Vol.19 , pp.809–817.

[10] 稲葉　敦,他8名(1995),「太陽光発電システムのライフサイクルアセスメント」,『エネルギー・資源』, Vol.16 , pp.65–71.

[11] 稲葉　敦,他8名(1995),「太陽光発電システムの導入によるCO_2排出量削減効果」,『エネルギー・資源』, Vol.16, pp.72–77.

[12] 後川　昭雄, 他4名(1992),「SPS用太陽電池（a-Si）の耐放射線性計測実験」, 第11回宇宙エネルギーシンポジウム.

[13] 後川　昭雄, 他5名(1996),「SPS2000用太陽電池の電子線照射実験」, 第15回宇宙エネルギーシンポジウム.

[14] 内山　洋司(1994),「太陽光発電用多結晶シリコン製造システムへの投入エネルギー」.

[15] 科学技術庁資源調査会(1983),『エネルギー収支から見た自然エネルギー利用技術の評価手法に関する調査報告』, 科技庁資源調査会報告, 第88号.

[16] 加藤　和彦,他10名(1994),「太陽光発電システムの経済性評価」,『化学工学論文集』, Vol.20, No.2, ,pp.261–267.

[17] 慶應義塾大学産業研究所環境問題分析グループ(1996),『環境分析用産業連関表』, 慶應義塾大学産業研究所 KEO モノグラフ・シリーズ,No.7.

[18] 建設省河川局(1985),「建設省河川砂防技術基準」, 山海堂.

[19] 鈴木　皓夫,他2名(1991),「宇宙用太陽電池の現状と今後の展開」,『エネルギー・資源』, Vol.12 , pp.52–57.

[20] 太陽光発電懇話会(1996),『太陽光発電システムの設計と施工』, オーム社.

[21] 太陽光発電技術研究組合(1994),『太陽光発電システム設計ガイドブック』, オーム社.

[22] 高倉　秀行(1991),「太陽光発電衛星用太陽電池素子の現状」, 第10回宇宙エネルギーシンポジウム.

[23] NEDO(1992),『太陽光発電システム実用化技術開発・光熱ハイブリッド型太陽光発電システムの研究開発・宇宙発電システムに関する調査研究（平成３年度委託業務成果報告書）』, 三菱総合研究所.

[24] NEDO(1994),『太陽光発電システム実用化技術開発・太陽光発電利用システム・周辺技術の研究開発・宇宙発電システムに関する調査研究（平成５年度度委託業務成果報告書）』, 三菱総合研究所.

[25] 野村　昇,他4名(1995),「産業連関表を用いた太陽光発電システムのエネルギーペイバックタイムの見積り」,『エネルギー・資源』, Vol.16, No.5 ,pp.57–64.

[26] 橋本博(1980),「宇宙衛星発電(SPS)方式の展望」,『電力中央研究所報告』,180021.

[27] 橋本博(1983),「宇宙衛星発電方式（SPS）の受電設備洋上立地と発電可能電力の検討」,『電力中央研究所報告』,183005.

[28] 浜川圭弘, 桑野幸徳(1994),『太陽エネルギー工学：太陽電池』, 培風館.

[29] 畚野信義「SPSシステムの概要」『電波研究所季報』Vol.28 No.148 1982年