小特集

核融合炉の経済性と環境負荷 - その解析と今後の課題 -

4 . エネルギー市場における核融合の経済効果

4.1 核融合導入による経済的インパクト

小 西 哲 之 , 時 松 宏 治¹⁾

(日本原子力研究所, ¹地球環境産業技術研究機構(RITE))

Economic Effect of Fusion in Energy Market Economic Impact of Fusion Deployment in Energy Market

KONISHI Satoshi and TOKIMATSU Koji¹⁾

Naka Fusion Research Establishment, Japan Atomic Energy Research Institute, Ibaraki 311-0193, Japan

¹⁾Research Institute of Innovative Technology for the Earth, Kyoto 619-0292, Japan

(Received 27 September 2002)

Abstract

Energy model analysis estimates the significant contribution of fusion in the latter half of the century under the global environment constraints if it will be successfully developed and introduced into the market. The total possible economical impact of fusion is investigated from the aspect of energy cost savings, sales, and its effects on Gross Domestic Products. Considerable economical possibility will be found in the markets for fusion related devices, of currently developing countries, and for synthesized fuel. The value of fusion development could be evaluated from these possible economic impact in comparison with its necessary investment.

Keywords:

fusion energy, market, discount rate, GDP, environmental constraint, fossil energy

4.1.1 はじめに - 基本的な考え方

エネルギーを取り引きする市場は、十分成熟した、あらゆる商品のなかでも最大の市場のひとつである。その動向は綿密に研究されているが、時間スケールは長期、超長期とよばれるものでもせいぜい10~20年程度である。一方核融合はエネルギーとして市場で価値を持つまでには少なくともまだ数10年かかるとみられており、通常の経済性検討のカテゴリでは市場効果を評価できるような対象としてはみなされるようなものではない。しかし、実用化したときの核融合の価値を評価推定するためには、何らかの方法でこの数10年~100年スケールのエネルギー市場を考えなければならない。このような研究

author's e-mail: konishi@tpl.tokai.jaeri.go.jp

は、やはり長いスケールが対象となるエネルギー資源と地球環境については行われている。これら超長期対象の研究で考えられるエネルギー市場は、経済的な、つまり市場メカニズムのもとでの挙動予測の対象ではなく、社会がある一定の制約条件下で選択する「シナリオ」のもとでのモデル計算となる。シナリオ自体の選択は、実際には政治や倫理や社会的な選好などにより行われる。

そのような多数あるシナリオのなかで、未来技術の価値は、社会に「こうあるべきである」「こうあってほしい」という選択を可能とする、あるいは避けるべきシナリオの回避策となる、という形で評価されることになる。そのような利益(あるいは損害の回避)は将来の価値であ

り、一方、未来技術の開発に対する投資は現在の価値において行われる。経済的価値は、支払い時点での支払い意思(WTP: Willingness To Pay)によって決定するものであるから、遠い将来の効果に対してであっても、その価値は現在価値として認識されていることになる。

核融合研究開発投資の妥当性、つまりその研究開発成果が投資額に見合っているかどうかは、将来に価値を生むかどうかではなく、将来のシナリオに対して現在行う選択に、どの程度有効であるかを投資者に定量的に説明し、支払い意思を発生させ満足させるかの問題である。

この予見不能な未来における効果から現在価値を評価するという意味において、核融合研究開発への投資は、保険と類似した面がある。しかし、多くの保険では統計に基づいて確率で処理できるような事象を対象としていて確率と保険金の価値から保険料が決められるのに対し、意図的な選択の結果である将来のエネルギーシナリオ間の選択は偶発的に起こる確率事象でもないし、核融合開発の成功・失敗は、統計が取れるような多数回ある事象でもない。つまり、核融合の将来の価値を、確率による評価すなわち将来価値に確率を乗じて得られる「期待値」で評価するのは適当ではない。

シナリオ分析は、多くの仮定に基づくものであるといっても、それ自体は価値判断を含まない、客観的な評価である。それらシナリオの分析に基づいて、核融合エネルギーの将来の市場価値は計算できるし、特定の仮定のもとにそれを現在価値に換算することも可能である。しかしシナリオの間の選択における、「価値」の評価は、投資者の支払い意思によって決まる。そこでの判断の多くは、市場メカニズムに基づく経済的予測のような予見的なものではなく、特に投資者が公共の立場にあれば政策的なものであり、「規範的(ノーマティブ)」すなわち、社会に「かくあるべし」との考え方にに基づくものとなる。シナリオ分析による将来の市場価値の評価は、そうした政策判断、投資判断を的確に行うための情報を提供することを意図するものである。したがってここでは、価値判断によるシナリオ選択の手前までの、将来の経済価値の現在価値への換算までの段階の評価を試みる。

経済効果には、直接費用削減効果、市場創出効果があり、さらに市場創出では直接の電力売上げと、発電機器など間接的な売上げの効果があり、これらを評価する。

4.1.2 評価の手順

将来の市場価値を評価するためには、現在の市場価値評価とは異なる手法が必要となる。ここでは、核融合の

参入すべき将来のエネルギー市場における核融合の参入効果を、1章および3.2章で示されたシナリオ分析に基づいて、その経済的価値を分析する方法を検討した。

方法の概要は以下のとおりである。

- 未来のエネルギー需給予測モデルとして現在一般的に使用されているものを適用。
- エネルギーシナリオの中で核融合の入るものを選定。
- 核融合の開発長期スケジュールに従った導入量を計算。
- 未来社会での人類のエネルギー総支出を評価。
- 核融合の市場におけるインパクトを分析。
- 現在価値に換算。

エネルギーモデルとしては、1章で述べられたエネルギー経済研究所モデル(WINGS)と、3.2章で地球環境産業技術研究機構(RITE)の使用しているLDNEモデルを用い、その結果を使用する。

将来のエネルギー需給シナリオは、IIASA/WEQ[1]、IPCC-SRES[2]、RITEの地球再生計画[3]などを参照した。詳細は1章、3.2章に譲るが、シナリオによって幅があるものの、人口は国連統計等に従って概ね2050年ころに百億人程度に達し、その後増加は鈍化して2100年でもほぼ同じくらいと考えられている。エネルギー消費は今後100年で現在の3倍から6倍程度に増加する。実質GDP成長率は、例えばIIASA/WECでは高成長で2.7%、低成長で2.0%程度としている。化石燃料資源は、2100年までのレンジでは枯渇しないという見方が一般的である。ただし価格は埋蔵量と累積消費量との関係で決まり、時代とともに上昇するものとされている[4]。これらの中で核融合エネルギーが最大の寄与の可能性を示すシナリオを選択するが、これは、強い環境制約のもとで経済発展を許すときに限られる。

核融合の長期開発スケジュールでは、平成4年原子力委員会の「第3段階基本計画」における記述に従い、「来世紀なかば以降のエネルギー供給に貢献することを目指し、それに至るまでの研究開発目標を段階的に設定し、これを実現するための研究開発を計画的に推進」されるものとする。これに具体的な開発ロードマップを当てはめたのが原子力委員会核融合会議の戦略検討分科会報告[5]であり、21世紀前半に段階的に開発が行われ、2030年代の原型炉で核融合発電のプラント規模での技術的実証が行われ、次に経済性のための開発が漸次行われ、技術的にある程度の成熟をみて2050年ころから本格的に市場に導入されるとしている。つまり、2050年運転開始の商用炉が、ほぼその時導入可能な発電単価を達成するもの

と、仮定することになる。以後、発電コストは技術の進展により徐々に低下し、それとともに導入が進む。ここでは市場に導入される2050年から2100年までの市場規模と核融合のシェアを使用することとする。

4.1.3 モデル計算による評価の概要

エネルギー、特に電力は発生方法によらず、2100年までの同一形態の商品として、統一的な単位（たとえば yen/kWh）で価値が評価できる。またエネルギー自体は化石燃料、原子力、あるいは太陽光や風力などのいわゆる新エネでも供給可能であるので、経済価値は、導入以降のエネルギー市場でのシェアから、エネルギー共通の価格単位で評価される。

エネルギーとして共通の評価の中では、資源制約は価格上昇で表現される。たとえば化石燃料は、供給量が増えるほど採掘困難あるいは低品位の資源を使用するため価格があがり、他のエネルギーにより代替される。環境制約もまたエネルギー価格として、たとえば化石燃料のCO₂回収コストや炭素税で表現される。原子力の立地や廃棄物処理の制約は、市場メカニズムで表現できず、供給量の上限の形で外生的に与えられる。増設速度の限界、燃料供給量も制約として扱われる。

エネルギーシナリオを選択すると、計量経済モデルにより人口、経済成長、社会政策を反映してエネルギー需給構造は解析でき、資源、技術、価格により社会として最適のエネルギー構成が計算される。

以下に本章での検討に引用したモデル分析の結果の概略をまとめる。詳細は1章、3.2章に述べられている。

①RITEモデルによる評価

RITEの地球再生計画に従った解析では、需要はIPCC 92a 準拠で、環境をある程度重視しているが2100年では20,000 MTOE/年となる。利用するケースは2100年時点で大気中二酸化炭素濃度を550 ppmに抑えるように放出を抑制する仮定で、全体のエネルギーコストを最小化するような一次エネルギー構成を線形計画法で算出する。Fig. 1に示すように核融合の参入可能コストは年代とともにエネルギーコストが上昇するため高くなる。核融合の発電コストは増加しないため、核融合導入分だけエネルギーコストが下がる。

この条件で、核融合および各エネルギー源のシェア評価は、Fig. 2に示すように、2050年導入では2100年に全発電容量の内、約30%、25,000 TWhと評価される。同じモデルで、核融合なしで2100年までのエネルギーを賄ったとしたのち、2100年に核融合を導入するとした時の参入

Fig. 1 Breakeven cost of electricity for fusion to be introduced into the market. Cost is expressed as thousands of US Dollar per kWh.

Fig. 2 Share of source of electricity.

可能発電単価は、2050年の時点より8 yen/kWh上昇すると評価されている。これから核融合の寄与ありとなしの場合の電力単価の差を8 yen/kWhと仮定すると、人類の全エネルギー支出削減効果は2100年の時点では年間200兆円/年規模と推算される。

②エネルギー経済研究所モデル

1章の日本エネルギー経済研究所の計量経済モデルは需要を外生的には与えない。環境重視のエネルギー選択を行うが、先にエネルギー需要をきめるのではなく、エネルギー消費と経済成長をエネルギー価格を媒介して計

算する構造となっている。エネルギーシナリオはIPCCだとB2相当またはIIASA/WECのA3, C2と呼ばれるものに近く、環境を比較的重視してエネルギー消費はあまり伸びないケースだが、それでも現在の約4倍となる。この間の経済成長率は世界平均約2%に相当している。核融合の発電単価は、Fig. 3に示すように減少のしかたに応じて、2050年に市場競合可能レベルまで低下する楽観ケース、まったく下らない悲観ケースおよびその中間を想定する(Fig. 3)が、いずれでも競合相手に原油価格を使用し、たとえば2050年で56 \$/bbl, 2100年で95 \$/bblと上昇するのはRITEと同様である。この条件で、核融合の一次エネルギーシェアは悲観ケースでは1%程度、楽観ケースで、11%と評価された(Fig. 4)。さらに、水素製造の寄与も考慮に入れると18%になる。コスト低減効果は、楽観ケースでは、19 \$/bbl、穏当ケースで54 \$/bbl相当の燃料供給と評価される。

Fig. 3 Assumption of cost of fusion and other energy sources used in the analysis of IEEJ.

Fig. 4 Share of fusion and other sources in primary energy market.

4.1.4 直接費用削減の効果

以上の結果を使って、核融合エネルギー開発の直接的な経済効果として、将来の社会のエネルギー支出の減少を評価する。この考察はRITEおよび日本エネルギー経済研究所のモデルによる結果を使用しているが、その意味の解釈には両者には責任はない。

あるエネルギー源が一定期間にもたらす利益 E は、そのエネルギーが利用可能であるために起こる利益(価格減少) Δv と市場占有率 s によって、 $E = \int s \Delta v dt$ と表される。比較的寿命の短い商品であれば、その全商品寿命にわたっての積分値を求めればよい。しかしエネルギー市場自体は永続的であり、核融合などエネルギー発生法もかなり寿命の長い商品であるので、得られる利益の特定期間での積分値による合理的な比較は困難である。しかし、ここでの検討の対象が、現在の研究開発投資の成果の評価であることを考えると、2つの意味でその価値は遠い未来になるほど減少することがわかる。

一つ目のファクタは「割引率」である。これは一種の金利と見ることもでき、将来の価値を現在価値として評価するときには割引率を設定しての割り戻しを行う。たとえば1億円の資金を投資したとき、 n 年後に1億円の利益が上がったとして投資が回収できたことにならないことを考えればよい。同じ資金を金利 x の定期性の預金で運用したとすれば $(1+x)^n$ 倍になるわけであるから、将来の価値の $1/(1+x)^n$ が現在価値である。「社会的時差選択好率」= 目先の利益 vs 将来世代のための投資、といった観点でみることもできる。

割引率は通常、公共事業については5%とされることが多い。しかし、割引率の考え方を100年に及ぶ長期に適用することについては経済学の専門家の間でも見解が分かれているらしい。少なくとも5%の値は100年の超長期では影響が大きく、現在の金利水準からも遠く離れている。専門家の間には長期で2%を使用する例もあり、ここでは2%でも評価を行う。いずれにしても、100年を遠く超える未来の現在価値は極めて低くなる。

もうひとつ、一旦開発に成功した商品は、開発費が償却してしまうことがある。一旦既知となった技術の価値は比較的短期間に減じる。ひとつの商品に着目すれば、開発費はさらに性能向上やコスト削減のために投資が続けられ、その中での初期の開発コストの寄与割合も減少する。開発の結果である核融合エネルギーの価値と、それに占める開発の寄与分の関係は注意する必要がある。

ここでは、単年度あたりの利益を現在値に割り戻した額を比較する微分的な評価を行って、量的な考察を行う。

Table 1 核融合によるエネルギー支出減少の現在価値

	現在価値(dr2%)	現在価値(dr5%)
①2050導入(RITE)	280,000	15,000
②2050導入(IEEJ)	270,000	15,000
②2070導入	6,000	3,000
②2100導入	400	200

(単位: 億円/年)

結果を Table 1 にまとめる。RITE の結果は、2100年単年度の値について、割引率を 5 % とすると、現在価値 1.5 兆円/年(全世界)となる。割引率 2 % なら 28 兆円/年相当になる。またエネルギー経済研究所のケースでは、割引率を 5 % とすると、楽観ケースで現在価値 1.5 兆円/年(全世界)、2070年導入となる穏当ケースでは 3,000 億円/年、悲観ケースでも 200 億円/年となる。割引率を 2 % とすると、それぞれ 27 兆円/年、5.6 兆円/年になる。この値が、核融合エネルギーが実用化していたと仮定した時の全人類の直接得る費用削減効果の現在価値と見ることでもある。

4.1.5 市場創出効果

核融合発電という「商品」の開発の本来の目的は、費用削減ではなく、「商品の売上」であると考えるほうが、実は自然である。開発の結果大幅なコストダウンに成功して非常に安価な電力が実現した場合、電力の売上は減少する。少ない売上の商品に対して多額の開発投資をするのも非合理である。しかし一方、コストダウンはそれ自体が需要を喚起して売り上げを増大する効果もある。

ここでは、まず核融合の市場での価値を、市場創出の観点で考察してみる。商用核融合発電の実現は、単に「発電による電力の売上」ばかりではなく、「核融合炉発電設備・機器の売上」を通じて経済に効果を及ぼす。

(1) 「核融合発電による電力売上規模」

核融合発電による電力売上高合計は、発電量とそれに占める核融合のシェアから計算可能であるが、発電単価でなく配電の単価を用いる。将来の電力単価は想定しがたいが、核融合炉発電の発電端(発電所出口)単価を軽水炉水準と仮定し、現在の原子力発電からの電気売上 5.7 兆億円/発電電力量 3,000 億 kWh = 19 円/kWh が、現在の単位電力量あたりの電力売上とみられる。一方原子力エネルギー経済規模 1.9 兆円/3,000 億 kWh = 約 6.6 円/kWh を発電原価とすれば約 3 倍であり、前項で得られたシェアに発電原価でなくその 3 倍を考えれば概ね売り上げが想像できる[6]。

ただし、売上げは、発電コストの外に、送電、配電、営業、公租公課、研究開発、などの経費を含み、ある程度市場メカニズムにも影響を受けている。つまり、売り上げに対してみると、核融合といえども、研究開発の寄与比率はかなり小さくなり、発電、送電を行うユーティリティ業界の投資への寄与が大きい。また、この考え方では、核融合が他の発電技術のシェアを奪っているため、GDP としての増加に寄与していないとの見方もできる。

(2) 「核融合発電設備・機器の市場規模」

電力の売り上げの外に、核融合発電機器は、これまでにない新たな商品の市場を開拓していることになる。電力の売り上げは国内市場のみを対象に行われているのに対し、グローバル市場での核融合電力の存在を考慮すれば、核融合炉では発電設備・機器の生産を国内で実施し、国外へ輸出することが想定される。そこで、国内における核融合発電設備・機器市場および国外向け核融合発電設備・機器輸出市場も核融合の経済効果に含まれる。

A. 国内における核融合発電設備・機器市場

核融合発電プラントの単価と数量は、どちらも予測に困難を伴うが、前述の発電容量から、ある程度機器の売り上げを推定することができる。

- ① 発電単価の内、核融合炉固有の設備・機器費(発電機や変電設備等従来技術が応用できる機器類は除く)が占める割合を約 35 % とする[7]。
- ② 前述の各年代における発電電力量 × 発電単価 × 設備・機器費比率(0.35)から、核融合発電設備・機器市場が類推される。
- ③ 運転費も、核融合特有のブランケット交換等は GDP 寄与が認められる。

B. 国外向け核融合発電設備・機器輸出市場

輸出市場についても同様の方法を用いて核融合開発の発電プラントの輸出に相当する GDP 効果を評価して推測できる。発電プラントの価格と売り上げの推算是困難であるが、世界全体での電力供給と、その中での核融合プラントの輸出可能装置の金額的寄与は推算可能である。核融合では、発電原価に占める資本費の割合、初期の比較的建設費の高いプラントで 70 ~ 80 %、成熟段階では 50 % ~ 60 % と試算されている。このうちプラントのハードウェアが 70 %、核融合に固有な装置に限ると 50 % を占める。つまり、全発電原価中での輸出可能な核融合装置価格の割合は約 30 % である。例えばある時点での世界平均発電原価が 6 yen/kWh とすると、そのうち 2 yen/kWh 相当 × (核融合開発に関与しなかった国の) 発

電総量 kWh/年×核融合シェアが1年あたりの核融合装置の輸出マーケットとなる。現在核融合開発に主要な寄与をしていない地域の2100年の電力シェアは、利用した2種のモデルでだいたい世界の約70%である。現在核融合開発を行っている国は、それぞれ自国内の核融合プラントを自給すると想像される。世界の核融合装置マーケットでの各国のシェアは予測し難いが、おそらく現在の核融合開発国が、少なくとも当初の市場は創業者利得の効果を含めて占有するであろう。

これから、世界市場への輸出による例えば我が国の核融合装置のGDP寄与が推算可能である。これは電力売りに比較すると小さくとも、GDPとしては大きな純増となる。また発電原価に対して占める比率が小さくとも、残りのGDP利得は、輸出先途上国に寄与しているのであって、日本の開発投資の、他国の市場拡大への貢献として別途算出することが妥当かも知れない。

4.1.6 直接費用削減と市場創出の関係

① 安価なエネルギーのもたらす効果

同じエネルギーシナリオでエネルギー単価が減少すれば、同じ総エネルギー供給に対して、社会が支払うエネルギー支出が減少し、そのままGDPの減少になる。一方総エネルギー支出削減により生み出された資源は新たな投資にまわり、結果としてGDP増加をもたらすと考えられる。ただしこれはエネルギーシナリオをより高成長側にシフトさせるため、シナリオの分析に困難を生じる。

社会がエネルギーに支払う総支出が決まっていれば、単価の減少によりエネルギー消費が拡大する。エネルギー消費増加への寄与は、GDP弾性値を乗じて経済規模の拡大として評価される。実際には、単価の減少による消費拡大効果は、価格弾性値(需要の変化/価格の変化)により表され、この値はエネルギーのような生活必需品で小さく、-0.2程度とされている(弾性値は奢侈品、嗜好品で高い)ため、価格が下がっても消費は大きくは伸びないことになる。

② 日本エネルギー経済研究所の評価

日本エネルギー経済研究所の解析では、価格弾性値-0.2で評価している。エネルギー単価減少は売上の減少、消費の増加、投資の拡大、GDP増加による需要拡大のループ計算を通して影響する。最終的にはエネルギー需給を電力も含めてすべて原油消費換算する。核融合の効果は、安価な原油の入手と等価に評価され、一次エネルギーの総支出減少に消費拡大を加えた形で表される。

RITEにおける評価

RITEのDNEモデルでは、将来のエネルギー需要をエネルギーシナリオで規制するため安価なエネルギー源は市場シェアは拡大するが市場規模そのものには影響を与えない。(価格弾性値を0としている)。例外は「省エネ」との競合関係で、省エネコストよりも安価である分は、省エネのシェアを縮小するので、その分だけエネルギー消費は増える。省エネ減少分は、エネルギーGDP弾性率の増加となるので、エネルギー消費増加分はGDP減少と相殺される。つまり、核融合参加で見かけのエネルギー消費が増えても、経済成長にはつながらない。

いずれにしても、エネルギー単価減少の効果は、支出削減と消費拡大の合計で評価する必要がある。前節では、「コスト削減効果」および「市場創出効果」の推計をそれぞれ異なる方法で行い、いずれも核融合炉発電の実現による将来の直接的経済効果として考察した。これらは単位も同じで、重複なく同時に経済に寄与があり、一方が増えれば他方が減る関係にある。しかし異なる性格の効果であるため単純な合算は適切でない可能性がある。

4.1.7 研究開発投資としての留意点

この核融合の市場価値の考察の根底には、「研究開発投資の成果」としての評価が念頭にある。本稿は、核融合研究開発投資の是非やその効果分析を目的としたものではないので深入りは避けるが、現在の核融合予算を、将来の核融合エネルギーの経済価値と直接比較してはならないことを指摘しておく。核融合の開発は、他のすべての商品の開発と同じく、売り上げあるいは利益に至るまでには、実際の製造、発電、営業などの活動とともに全体の投資額の一部をなすものであって、ここで推定した市場規模のすべてを、成功した場合でも現在行われている開発努力の成果に帰することはできない。この、全売り上げに対する研究開発の寄与割合は、現在の商品から推定することができるので、それを用いて核融合開発の妥当な資金投入量の推定は可能かもしれない。

4.1.8 まとめ

核融合が人類全体にもたらしうる2100年時点での経済効果は、21世紀を通したエネルギー需給シナリオのうち、環境と経済成長とエネルギーの安定供給を満たすものを指向する限りにおいては、市場参加に成功すれば有為なシェアを占め、莫大なものといえるスケールを持っている。経済性、あるいは投資の回収の観点でみると、最終的に得られると期待される市場規模、経済効果が大

きければ大きいほど、WTPによる初期投資の大きさは正当化されやすい。この観点では、我が国国内の電力の一部のシェアにおいて利幅の狭い低コスト発電炉としての地位をそれも遠い未来に見るのと、グローバルなエネルギー市場を見たときには、その経済的な可能性は大きく異なる。それを生かすためには、的確な開発戦略が必要となろう。またこの他にも、エネルギーセキュリティなど、まだ評価できていない社会的効果もある。

ただ、いずれにしてもこれらの投資効果は、核融合が市場に投入された後、たとえば2050年以降に発生するのに対して、投資は現在行われているので、経済効果の現在価値での評価には注意が必要である。

核融合が市場投入に失敗する確率、社会が核融合等の非化石エネルギーを選択しない可能性、については本検討では評価されていない。この投資リスクと回収に必要な長期間は、公共投資としての性格に附随するものと考えられる。これら核融合研究開発への投資が有効な利益を生まない可能性については、投資者の選択の中に支払い意志の中で織り込み済みであると見なすことも可能であるが、それが妥当なレベルであるかは、ここでは評価できていない。しかし、核融合の開発意義を説明しようとする目的として、ここで行われたような経済的な価値

の評価はその出発点となるものである。また、経済的価値が、社会にとって見たときには単なる市場価格や売り上げのみではなく、さまざまな外部コストを含むことは、次章で分析される。

謝辞

本稿をまとめるに当たっては日本原子力研究所高橋祥次財務担当理事との議論に負うところが大きく、ここに謝意を表する。

参考文献

- [1] IIASA/WEC, *Global Energy Perspectives* (Cambridge University Press, 1998).
- [2] IPCC 地球温暖化第二次レポート(中央法規, 1996).
- [3] RITE/NEDO, 「地球再生計画」の実施計画作成に関する調査事業, NEDO-GET-0007, 平成13年3月
- [4] Hans-Holger Rogner, *An Assessment of World Hydrocarbon Resources*, WP-96-56 (1996).
- [5] 原子力委員会核融合会議, 戦略検討分科会報告(1999).
- [6] 原産会議「原子力利用の経済規模」(2001).
- [7] M. Kikuchi, 核融合動力炉実用化に関する調査, プラズマ・核融合学会 (1998) p.214.