

NATIONAL INSTITUTE FOR FUSION SCIENCE

革新的未来エネルギー技術に関する社会受容性研究
Socio-Economic Research for Innovative Energy Technologies

小川雄一、岡野邦彦
Y. Ogawa, K. Okano

(Received - Aug. 21, 2006)

NIFS-MEMO-49

Oct. 2006

RESEARCH REPORT
NIFS-MEMO Series

This report was prepared as a preprint of work performed as a collaboration research of the National Institute for Fusion Science (NIFS) of Japan. The views presented here are solely those of the authors. This document is intended for information only and may be published in a journal after some rearrangement of its contents in the future.

Inquiries about copyright should be addressed to the Research Information Office, National Institute for Fusion Science, Oroshi-cho, Toki-shi, Gifu-ken 509-5292 Japan.

E-mail: bunken@nifs.ac.jp

<Notice about photocopying>

In order to photocopy any work from this publication, you or your organization must obtain permission from the following organization which has been delegated for copyright clearance by the copyright owner of this publication.

Except in the USA

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)
6-41 Akasaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan
Phone: 81-3-3475-5618 FAX: 81-3-3475-5619 E-mail: jaacc@mtd.biglobe.ne.jp

In the USA

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone: 1-978-750-8400 FAX: 1-978-646-8600

革新的未来エネルギー技術に関する社会受容性研究

平成 18 年 8 月

東京大学 小川雄一

電力中央研究所 岡野邦彦

Socio-Economic Research for Innovative Energy Technologies

Yuichi OGAWA (High Temperature Plasma Center, the University of Tokyo)

Kunihiko OKANO (Central Research Institute of Electric Power Industry)

Abstract

In the 21st century global environment and energy issues become very important, and this is characterized by the long-term (in the scale of a few tens years) and world-wide issue. In addition, future prospect of these issues might be quite uncertain, and scientific prediction could be very difficult. For these issues vigorous researches and various efforts have been carried out from various aspects; e.g., world-wide discussion such as COP3 in Kyoto, promotion of the energy-saving technology and so on.

Development of environment-friendly energy has been promoted, and new innovative technologies are explored. Nuclear fusion is, of course, a promising candidate. While, there might be some criticism for nuclear fusion from the socio-economic aspect; e.g., it would take long time and huge cost for the fusion reactor development. In addition, other innovative energy technologies might have their own criticism, as well. Therefore, socio-economic research might be indispensable for future energy resources.

At first we have selected six items as for the characteristics, which might be important for future energy resources; i.e., energy resource, environmental load, economics, reliability/stability, flexibility on operation and safety/security. Concerning to innovative energy technologies, we have nominated seven candidates; i.e., advanced coal technology with CO₂ recovery system, SOFC top combined cycle, solar power, wind power, space solar power station, advanced fission and fusion.

Based on questionnaires for ordinary people and fusion scientists, we have tried to assess the fusion energy development, comparing with other innovative energy technologies.

Keywords: socio-economics, innovative energy technology, questionnaire, fusion energy

目次

はじめに

第1章 環境・エネルギー問題に関心がある集団を抽出するためのスクリーニングアンケート調査

1. 1 調査の進め方
1. 2 調査結果の概要
1. 3 調査結果のデータ
1. 4 回答者の属性
1. 5 アンケート結果

参考資料：評価事項に対するウェイト付け調査（一般者）対象者抽出のためのスクリーニング用アンケート調査書

第2章 革新的未来エネルギー技術に求められる評価事項に関するウェイト付け調査・分析

2. 1 調査目的
2. 2 調査方法
2. 3 回収率
2. 4 回答者の属性
2. 5 アンケート結果

参考資料：未来のエネルギー技術の特徴の評価についてのアンケート

第3章 各種の革新的未来エネルギー技術の評価

3. 1 調査目的
3. 2 調査方法
3. 3 回収率
3. 4 集計結果の図表

参考資料：No. 1 未来のエネルギー技術の特徴の評価についてのアンケート

参考資料：No. 2 未来エネルギー源の特性比較基準データ

あとがき

はじめに

地球規模でのエネルギー・環境問題の緊急性・重要性が広く認識されてきており、そのための対策が精力的に検討されている。21 世紀のエネルギー・環境問題は、地球規模での広域的かつ数十年後に顕在化する超長期を見据えた、しかも科学的な不確実性を有する予測に基づいた課題である、という点が特徴である。このような課題に対して、COP3 を初めとした世界規模での環境問題に対するアセスメントを議論する場が設けられていると共に、省エネ等のエネルギー消費の低減や環境負荷がより少ない新エネルギー源の開発が積極的に推進されている。

このような中で、特に後者の観点から、その技術開発が精力的に推進されている様々な新エネルギーに対して、一般社会がどのような特性を評価しているのか、どこに魅力を感じているのか、何を求めているのか、等の視点に立った社会受容性に関する研究を実施した。なおこの調査研究では、21 世紀のエネルギー・環境問題の特徴である、地球規模の広域性かつ数十年後に顕在化するという超長期的な視点を重視し、21 世紀中葉以降を見据えた革新的未来エネルギーを対象とし、その特性評価を主眼とするものである。

本調査研究は、その技術開発が精力的に推進されている様々な新エネルギー技術に対して、デルファイ法などの調査・分析手法を用いて、以下のような3段階に分けたアンケート調査により実施した。

- (i) 環境・エネルギー問題に関心がある集団を抽出するためのスクリーニングアンケート調査
(1,000 人以上の一般人を対象)
- (ii) 革新的未来エネルギー技術に求められる評価事項に関するウェイト付け調査・分析
(約 100 人の一般人を対象)
- (iii) 各種の革新的未来エネルギー技術の評価点の決定
(約 30 人の専門家を対象)

アンケート調査は(株)東京エネルギーリサーチ社に委託した。本研究は「核融合科学研究所一般共同研究(相互交流:企画型)」をベースとして平成 16-17 年度に実施したものである。

なお本調査研究は、以下のメンバーとの定期的な会合により進められた。

検討会メンバー（敬称略）

			主な役割
小川 雄一	東京大学高温プラズマ研究センター		全体の取りまとめ
岡野 邦彦	電力中央研究所原子力技術研究所		技術評価・核融合
相良 明男	核融合科学研究所核融合		核融合
朝岡 善幸	電力中央研究所原子力技術研究所		原子力・水素・核融合
日渡 良爾	電力中央研究所原子力技術研究所		核融合
七原 俊也	電力中央研究所システム技術研究所		再生可能エネルギー
長野 浩司	電力中央研究所社会経済研究所		エネルギー経済
後藤 直彦	電力中央研究所研究企画グループ		宇宙太陽光発電
伊藤 浩吉	日本エネルギー経済研究所		計量経済
加藤 尊秋	東京工業大学社会工学		便益計量
大森 良太	文科省科学技術政策研究所		未来技術調査
時松 宏治	産総研		エネルギー需給モデル
伊藤 衡平	九州大学		水素エネルギー
大隈 多加志	地球環境産業技術研究機構		CO2 回収システム
鈴木 英之	東京大学工学系研究科		メタンハイドレード
小西 哲之	京都大学エネルギー理工学研究科		効用評価、核融合
乗松 孝好	大阪大学レーザーエネルギー研究センター		核融合
畦地 宏	大阪大学レーザーエネルギー研究センター		核融合
飛田 健次	日本原子力研究開発機構		核融合

第1章 環境・エネルギー問題に関心がある集団を抽出するためのスクリーニングアンケート調査

1. 1 調査目的

スクリーニング調査は、「革新的未来エネルギー技術に求められる評価事項に関するウェイト付け調査・分析」の実施に先立ち、対象となる一般生活者を抽出するために実施するものである。

「革新的未来エネルギー技術に求められる評価事項に関するウェイト付け調査・分析」は、エネルギーの専門家ではなく一般生活者の視点から評価事項に関するウェイト付けを行うことを主眼としている調査であるが、一般生活者の中でも、ウェイト付けの評価が可能な程度にエネルギー・環境問題への関心を持っていることが求められる。

また、関心を持っている層の中でも、エネルギー・環境問題への関心、あるいはエネルギー技術の開発状況に関する認識という点では、関心の程度は人により差があると考えられる。従って、この点を考慮しつつ幅広い層から評価を得ることが求められている。

以上の点を考慮して、スクリーニング調査においては、環境やエネルギー問題への関心、エネルギー・環境に関する事柄や技術に関する認知度などをたずねる設問をもとにして、一般生活者の中からある程度関心を持っている層を抽出し、さらに、関心を持っている層に関心度によりグループ分けし、各層から対象者を抽出することによって、幅広い一般生活者を調査対象とすることを目的として実施するものである。

1. 2 調査方式

@調査対象：(株)東京エネルギーリサーチのモニター登録会員のうち、メールアドレスを保有しインターネットによるWebアンケート調査への協力が可能な会員 計3,541名

@実施方法：インターネットによるWebアンケート調査

@実施期間：平成16年8月3日～9日

@調査項目：エネルギー問題への関心、環境問題への関心、エネルギーや環境問題に関する16の事柄への関心、エネルギーや環境問題に関する16の事柄の認知度。回答者の属性として、性別、年齢、職業、日常生活（仕事など）におけるエネルギー・環境問題に関する専門的な情報との接触状況。

@アンケート用紙：参考資料として本章末に掲載した。

1. 3 回収率

対象者数：3,541名 回答者数：1,365名 回収率：38.5%

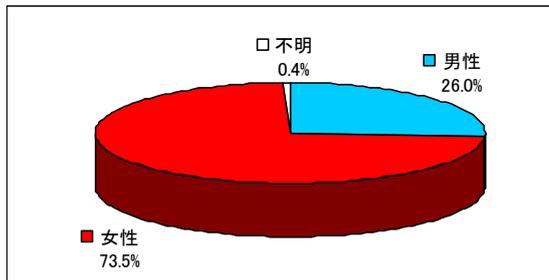
なお、集計および対象者抽出にあたっては、「革新的未来エネルギー技術に求められる評価事項に関するウェイト付け調査」への協力可能と回答したモニター1,361名を対象に行った。

1. 4 回答者の属性

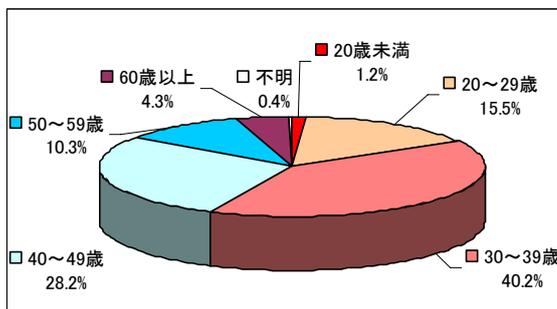
回答者の性別、年齢、職業、日常生活（仕事など）におけるエネルギー・環境問題に関する

る専門的な情報との接触状況の分布を以下に図示する。(N=1361)。

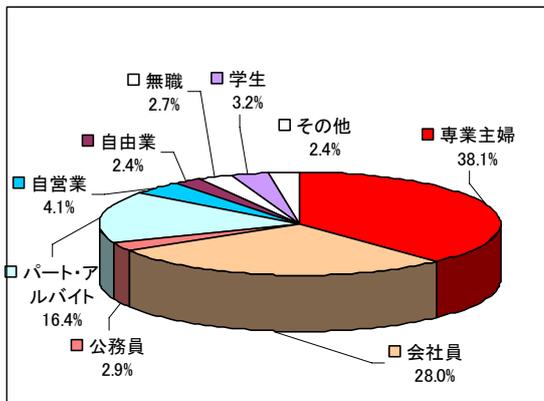
<F1 性別>



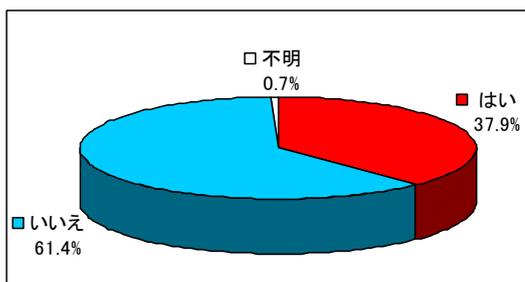
<F2 年齢>



<F3 職業>



<F4 日常生活(仕事など)におけるエネルギー・環境問題に関する専門的な情報を目にする機会が多いか>



1. 5 アンケート結果

(1) 単純集計結果

Q1.エネルギー問題への関心		非常に 関心がある	やや関 心があ る	あまり関 心はない	全く関心 はない	合計
	人	438	793	121	2	1,354
	%	32.2	58.3	8.9	0.1	99.5

Q2.環境問題への関心		非常に関 心がある	やや関 心があ る	あまり関 心はない	全く関心 はない	合計
	人	574	728	55	0	1,357
	%	42.2	53.5	4.0	0.0	99.7

Q3.テレビ・雑誌・新聞記事への関心		ある	ない	合計
	人	1,299	53	1,352
	%	95.4	3.9	99.3

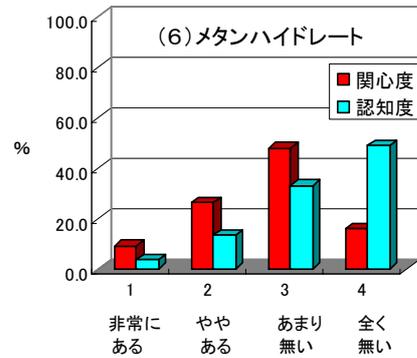
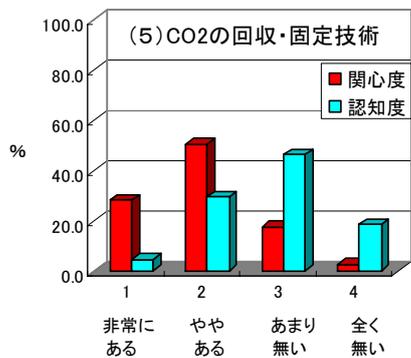
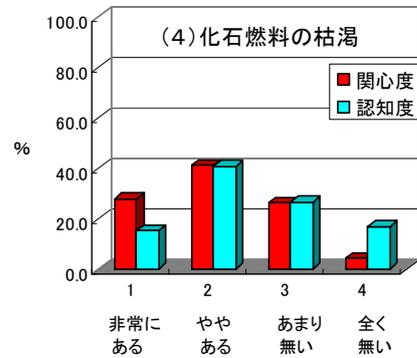
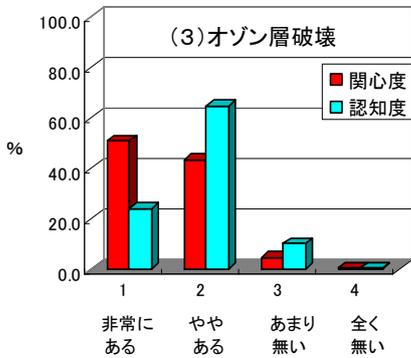
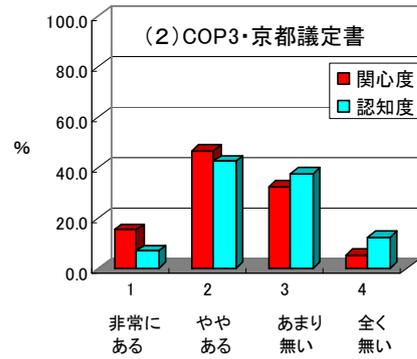
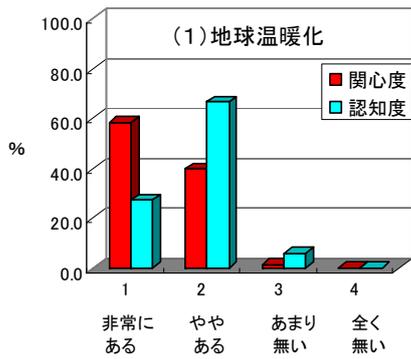
Q4 関心度		非常に関 心がある	やや関 心があ る	あまり関 心はない	全く関心 はない
(1)地球温暖化	%	58.5	39.8	1.4	0.1
(2)COP3・京都議定書	%	15.2	46.7	32.5	5.4
(3)オゾン層破壊	%	51.1	43.4	4.6	0.3
(4)化石燃料の枯渇	%	27.9	41.2	26.3	4.2
(5)CO2の回収・固定技術	%	28.4	50.6	17.7	2.7
(6)メタンハイドレート	%	9.3	26.4	47.9	16.0
(7)エコマーク・グリーン電力基金	%	18.4	47.5	28.4	4.8
(8)再生可能エネルギー(太陽光・風力・水力など)	%	55.5	38.3	4.6	1.2
(9)宇宙太陽光発電衛星	%	23.3	38.6	31.0	6.8
(10)バイオマスエネルギー	%	15.9	29.9	40.5	13.4
(11)核分裂エネルギー	%	19.8	40.9	30.7	8.3
(12)高速増殖炉	%	18.6	41.7	31.2	8.3
(13)核融合エネルギー	%	16.6	36.1	37.1	9.7
(14)燃料電池	%	34.5	45.0	16.9	3.2

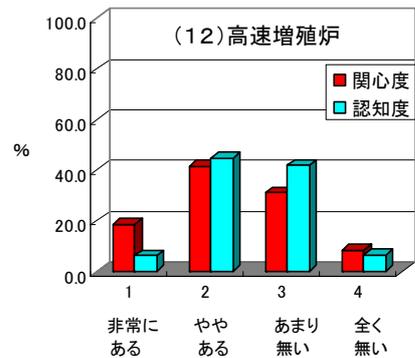
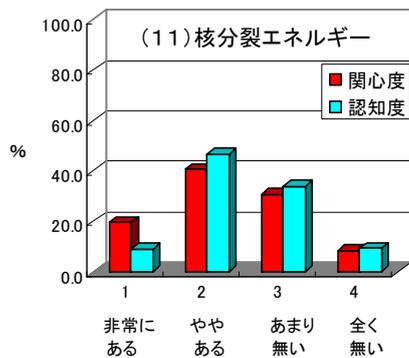
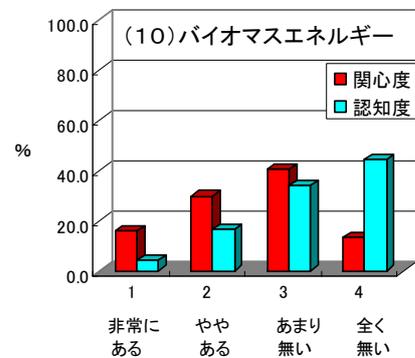
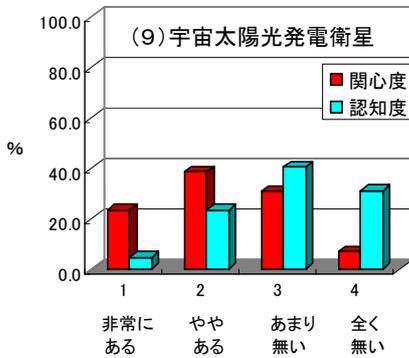
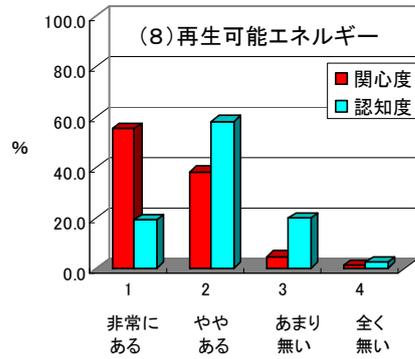
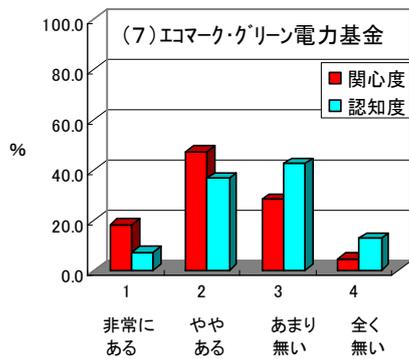
(15)超伝導技術	%	21.4	38.6	32.5	7.1
(16)人工知能	%	24.2	39.4	29.3	6.3

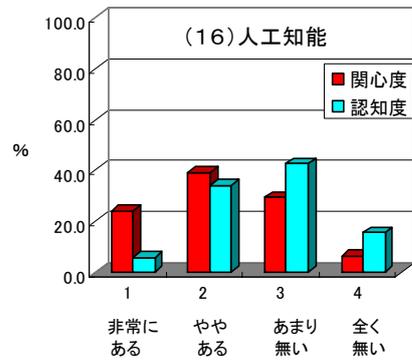
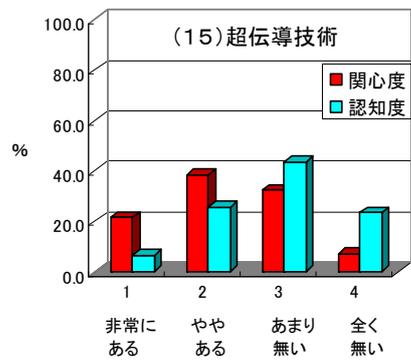
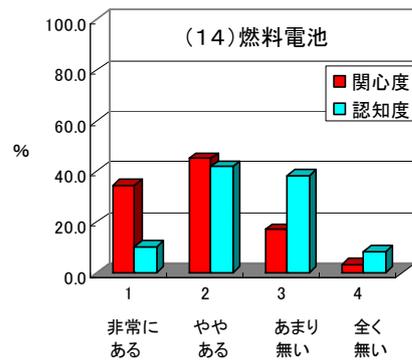
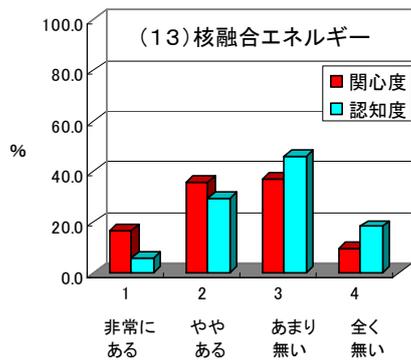
Q5 認知度		よく知って いて人に 説明もで きる	知って いる	聞いたこ とはある	知らない・ 聞いたこ とはない
(1)地球温暖化	%	27.2	66.6	6.0	0.0
(2)COP3・京都議定書	%	7.1	42.7	37.8	12.3
(3)オゾン層破壊	%	24.2	64.8	10.1	0.4
(4)化石燃料の枯渇	%	15.2	41.1	26.6	16.8
(5)CO2の回収・固定技術	%	4.8	29.7	46.6	18.7
(6)メタンハイドレート	%	3.8	13.5	33.3	49.1
(7)エコマーク・グリーン電力基金	%	7.1	36.9	42.6	12.6
(8)再生可能エネルギー(太陽光・風力・水力など)	%	19.1	58.4	19.9	2.3
(9)宇宙太陽光発電衛星	%	4.6	23.3	40.6	31.1
(10)バイオマスエネルギー	%	4.2	16.5	34.3	44.7
(11)核分裂エネルギー	%	9.2	46.9	33.9	9.3
(12)高速増殖炉	%	6.3	45.0	41.9	6.5
(13)核融合エネルギー	%	5.8	29.5	46.1	18.2
(14)燃料電池	%	10.4	42.0	38.6	8.4
(15)超伝導技術	%	6.5	25.8	43.6	23.6
(16)人工知能	%	5.9	34.2	42.8	15.5

(2) 関心度と認知度のグラフ表示

下記グラフで の横軸表現	「非常にある」	「ややある」	「あまり無い」	「全く無い」
Q4 関心度	非常に関心がある	やや関心がある	あまり関心はない	全く関心はない
Q5 認知度	よく知っていて人 に説明もできる	知っている	聞いたことはある	知らない・聞いた ことはない







参考資料：評価事項に対するウェイト付け調査（一般者）対象者抽出のための
スクリーニング用アンケート調査書

Q 1. あなたは、エネルギー問題に関心をお持ちですか（一つだけ）。

1. 非常に関心がある
2. やや関心がある
3. あまり関心はない
4. まったく関心はない

Q 2. あなたは、環境問題に関心をお持ちですか（一つだけ）。

1. 非常に関心がある
2. やや関心がある
3. あまり関心はない
4. まったく関心はない

Q 3. あなたは、テレビ・新聞・雑誌などでエネルギーや環境の問題について取り上げられているのを目にした場合、内容を見たり読んだりすることがありますか。

1. ある
2. ない

Q 4. あなたは、エネルギーや環境の問題に関する次の(1)～(16)の事柄について関心がありますか。あてはまるものをそれぞれ一つずつお選びください。

	1. 非常に関心がある	2. やや関心がある	3. あまり関心はない	4. まったく関心はない
(1) 地球温暖化	1	2	3	4
(2) COP3・京都議定書	1	2	3	4
(3) オゾン層破壊	1	2	3	4
(4) 化石燃料の枯渇	1	2	3	4
(5) CO ₂ の回収・固定技術（大気中にCO ₂ を放出しない技術）	1	2	3	4
(6) メタンハイドレート	1	2	3	4
(7) エコマーク・グリーン電力基金	1	2	3	4
(8) 再生可能エネルギー（太陽光・風力・水力など）	1	2	3	4

(9) 宇宙太陽光発電衛星 (宇宙での大規模発電と地球への送電)	1	2	3	4
(10) バイオマスエネルギー	1	2	3	4
(11) 核分裂エネルギー (現在の原子力発電)	1	2	3	4
(12) 高速増殖炉 (日本では「もんじゅ」)	1	2	3	4
(13) 核融合エネルギー	1	2	3	4
(14) 燃料電池	1	2	3	4
(15) 超伝導技術	1	2	3	4
(16) 人工知能	1	2	3	4

Q 5. 上記の(1)~(16)の事柄について、あなたご自身はどの程度ご存知ですか。

資料などを調べることはなさらず、ありのままでお答えください (それぞれ一つずつ)。

	1. よく知っている に説明もできる	2. 知っている	3. 聞いたことはある	4. 知らない (聞いたこ ともない)
(1) 地球温暖化	1	2	3	4
(2) COP3・京都議定書	1	2	3	4
(3) オゾン層破壊	1	2	3	4
(4) 化石燃料の枯渇	1	2	3	4
(5) CO ₂ の回収・固定技術 (大気中に CO ₂ を放出しない技術)	1	2	3	4
(6) メタンハイドレート	1	2	3	4
(7) エコマーク・グリーン電力基金	1	2	3	4
(8) 再生可能エネルギー (太陽光・風力・水力など)	1	2	3	4
(9) 宇宙太陽光発電衛星 (宇宙での大規模発電と地球への送電)	1	2	3	4
(10) バイオマスエネルギー	1	2	3	4
(11) 核分裂エネルギー (現在の原子力発電)	1	2	3	4
(12) 高速増殖炉 (日本では「もんじゅ」)	1	2	3	4
(13) 核融合エネルギー	1	2	3	4
(14) 燃料電池	1	2	3	4
(15) 超伝導技術	1	2	3	4
(16) 人工知能	1	2	3	4

<あなたご自身について伺います>

F 1. あなたの性別は

1. 男性 2. 女性

F 2. あなたの年齢は

1. 20歳未満 2. 20～29歳 3. 30～39歳 4. 40～49歳 5. 50～59歳
6. 60歳以上

F 3. あなたのご職業は

1. 専業主婦 2. 会社員 3. 公務員 4. パート・アルバイト
5. 自営業 6. 自由業 7. 無職 8. 学生 9. その他

F 4. あなたは、日常生活（仕事など）において、エネルギー・環境問題に関する専門的

な情報を目にする機会が多いほうだと思いますか。

1. はい 2. いいえ

第2章 革新的未来エネルギー技術に求められる評価事項に関するウェイト付け調査・分析

2.1 調査目的

「革新的未来エネルギー技術に求められる評価事項に関するウェイト付け調査」は、エネルギーの専門家ではなく一般生活者の視点から評価事項に関するウェイト付けを行うことを主眼としている調査であり、ウェイト付けの評価が可能な程度にエネルギー・環境問題への関心を持っている一般生活者を対象にデータ収集することを目的とする。

2.2 調査方法

①第一回調査

@調査対象 : (株)東京エネルギーリサーチのモニター登録会員のうち、(i)「環境・エネルギー問題に関心がある集団を抽出するためのスクリーニングアンケート調査」¹より抽出した会員 計144名

@実施方法 : 調査票を郵送、対象者の直接記入による紙ベースアンケート

@調査時期 : 平成16年9月29日～10月12日

@調査項目 : エネルギー資源、環境影響、経済性、安定性、安全と安心の5種の評価項目の重み付けおよび、各評価項目に対する条件別の事柄の比較評価。回答者の属性として、性別、年代。

<参照：巻末資料2. エネルギー技術の評価事項に対するウェイト付け調査（一般者第一回）対象者用アンケート設問>

②第二回調査

@調査対象 : 「第一回調査」において有効回答を得た会員 計123名

@実施方法 : 調査票を郵送、対象者の直接記入による紙ベースアンケート。対象者が第一回調査での各設問の結果を見ながら回答するデルファイ法による調査。

@調査時期 : 平成16年11月4日～11月12日

@調査項目 : 上記、「第一回調査」と同様。

<参照：巻末資料3. エネルギー技術の評価事項に対するウェイト付け調査（一般者第二回）対象者用アンケート設問>

¹「エネルギー技術の評価事項に対するウェイト付け調査（対象者抽出のためのスクリーニング調査）実施報告書」（平成16年9月）を参照のこと。関心度ランク（3分類）ごとに、性別（男性、女性の2区分）×年齢層（30歳未満、40歳代、50歳代、60歳以上の4区分）の計8区分から各6名ずつランダムサンプリングを行い、計144名を抽出している。

2. 3 回収率

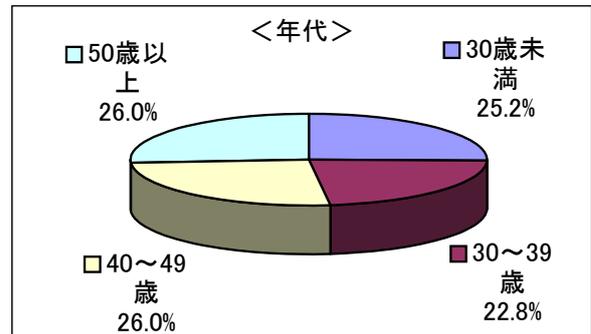
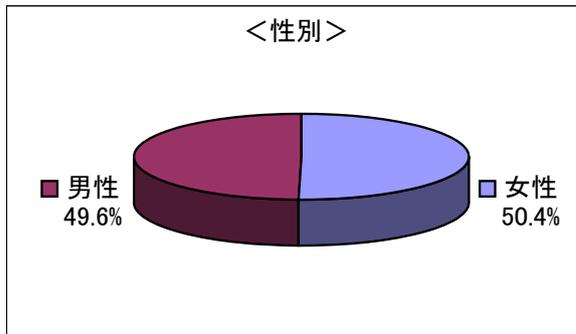
①第一回調査	・・・	対象者数：144名	有効回答数：123名	回収率：85.4%
②第二回調査	・・・	対象者数：123名	有効回答数：108名	回収率：87.8%

2. 4 回答者の属性

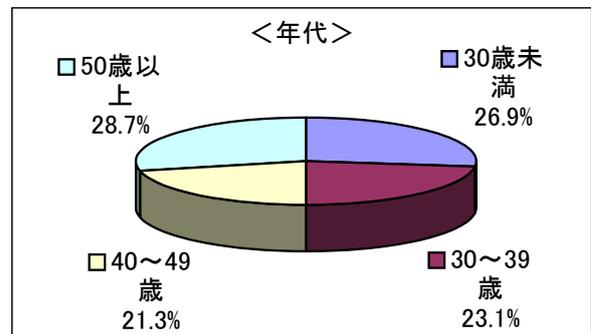
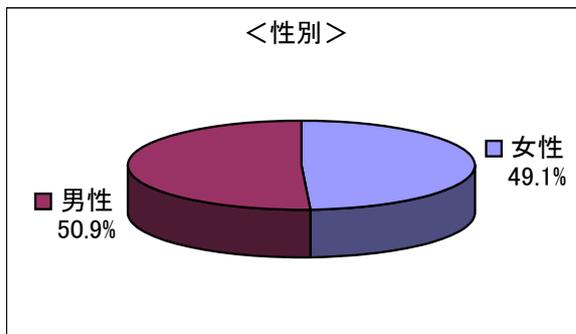
回答者の性別、年代の分布を以下に図示する。

図 1-2-1 回答者の属性

①第一回調査(n=123)



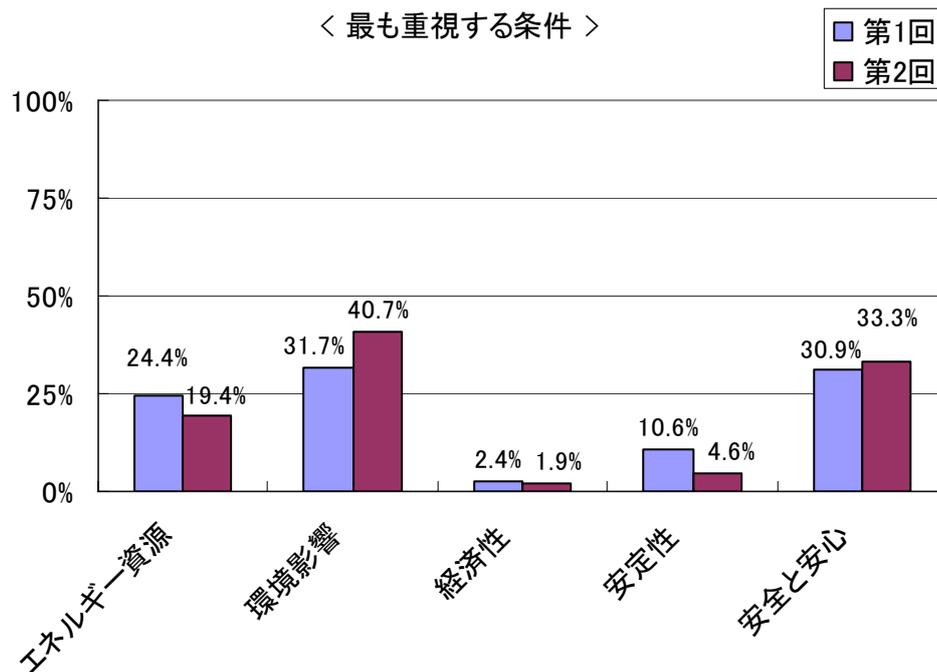
②第二回調査(n=108)



2. 5 アンケート結果

(1) 最も重視する条件

エネルギー技術にとって望ましい5種の条件を提示し、最も重視する条件一つを選択してもらった。



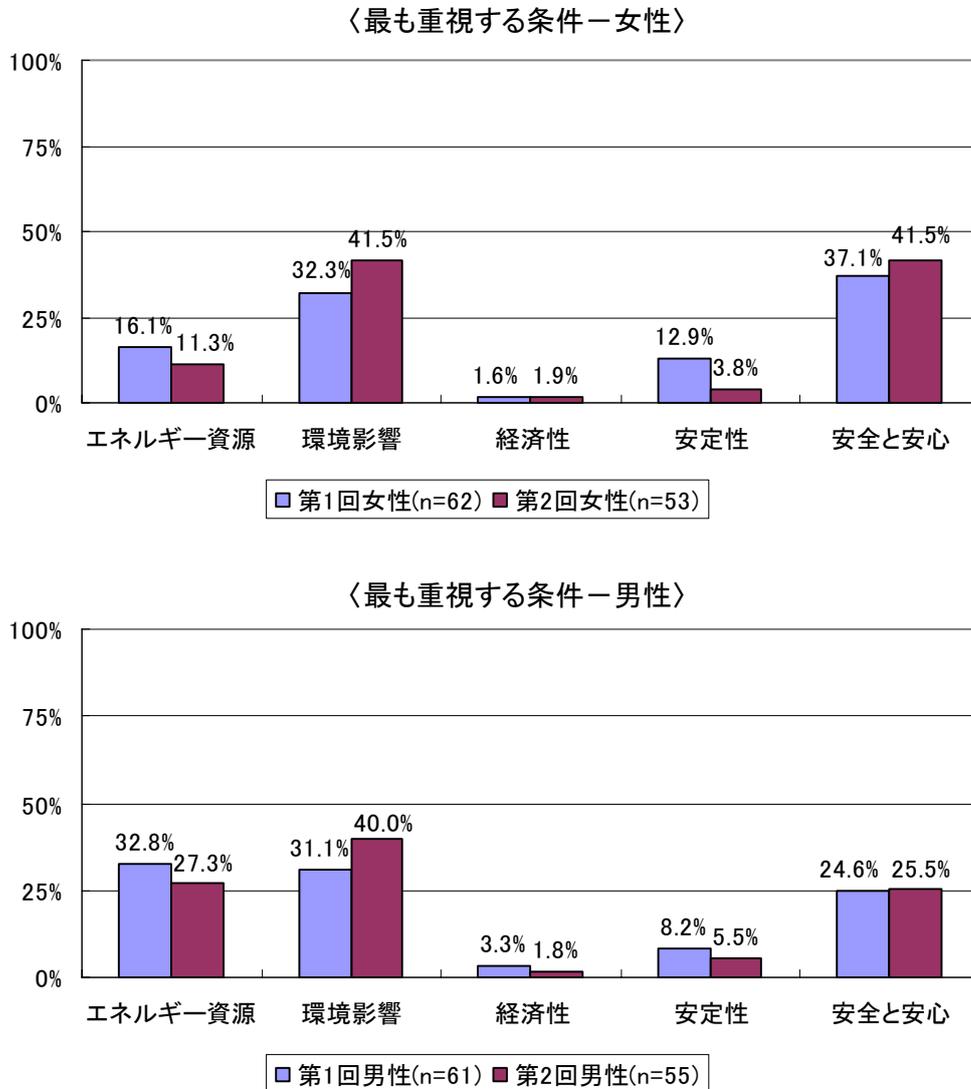
第一回においては、「環境影響」を選ぶ人が最も多く、次いでほぼ同数で「安全と安心」、以下「エネルギー資源」「安定性」と続き、「経済性」は最も少ない結果となった。

第二回においては、第一回の集計結果のフィードバック効果があらわれ、回答傾向の収束がみられた。回答数の多さの順序については、全く同一の結果が得られたが、トップの「環境影響」を選択する回答者数が大きく増加（第一回：123人中39人、第二回：108人中44人が選択）し、「経済性」と「安定性」を選択する回答者は減少した。

エネルギー技術に望まれる条件としては、「環境影響」「安全と安心」を優先的に評価すべきと考える回答者が多く、「経済性」を優先的に評価すべきと考える回答者はきわめて少ない結果となった。

<属性別結果>

①性別

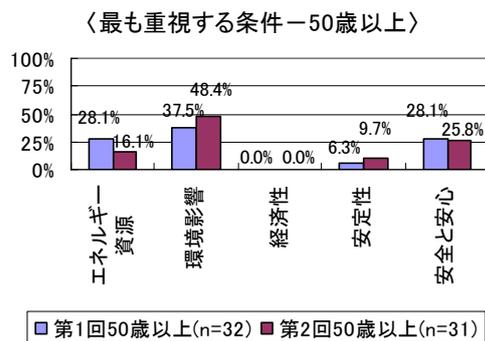
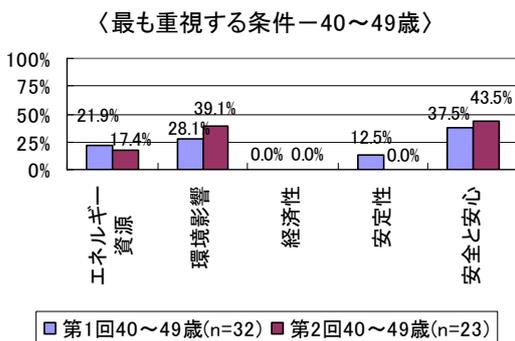
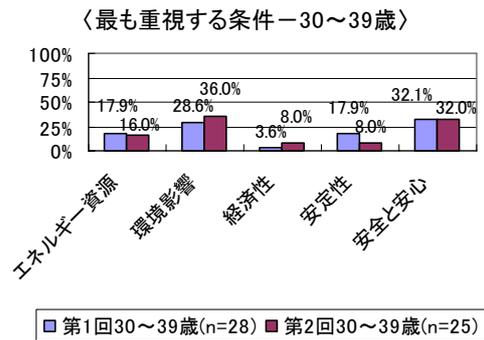
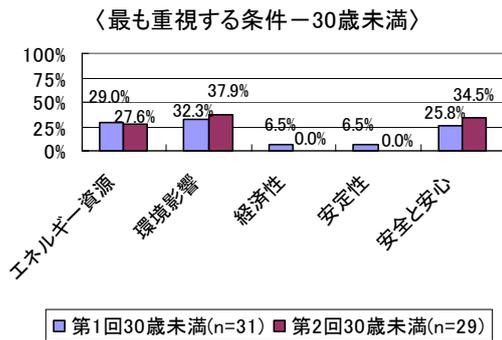


女性では、第一回では「安全と安心」がトップで、第二回では、さらに「安全と安心」選択者数は増えたが、「環境影響」の選択者数がより多く増え、結果として、トップは「環境影響」と「安全と安心」となった。大きく選択者数が減少したのは「安定性」、次いで「エネルギー資源」であった。

一方、男性では、第一回では「エネルギー資源」がトップで、第二回では、「環境影響」が選択者数を大きく増やしてトップとなった。選択者数が減少したのは「エネルギー資源」と「安定性」であった。

「経済性」はどちらの回においても、男女共に最下位であった。

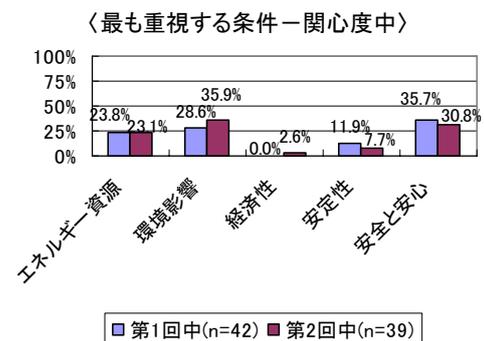
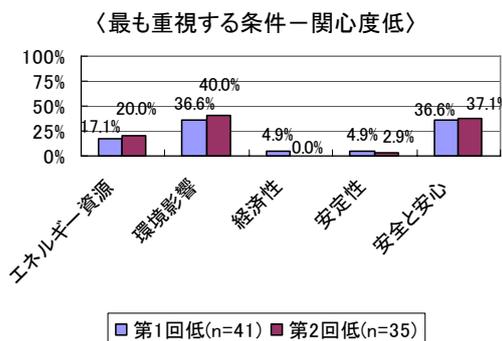
②年代別（各年代層の回答者数は20～30名程度と少数であることに注意のこと）

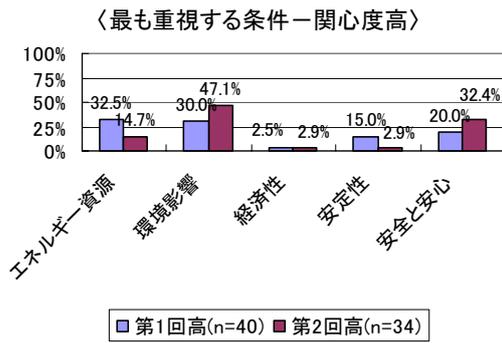


第一回において、「環境影響」がトップとなったのは、30歳未満と50歳以上の層で、これらの層は第二回においても「環境影響」がトップとなった。

30歳代では第一回で「安全と安心」がトップであったが、第二回では「環境影響」がトップとなった。40歳代では第一回で「安全と安心」がトップで、第二回ではさらに選択者数をふやしてトップを維持する結果となった。

③関心度別



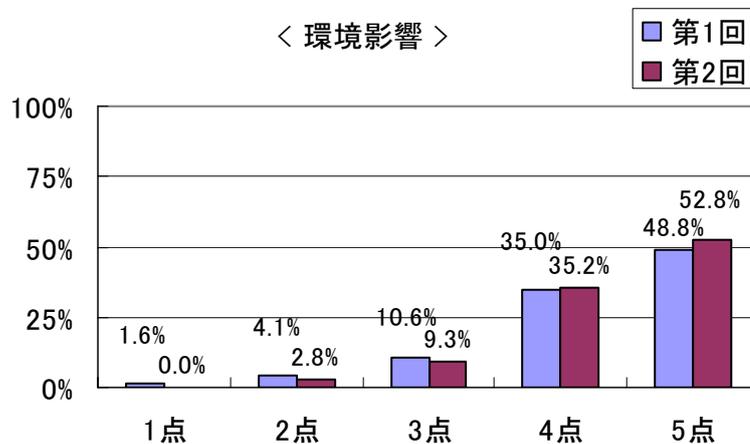
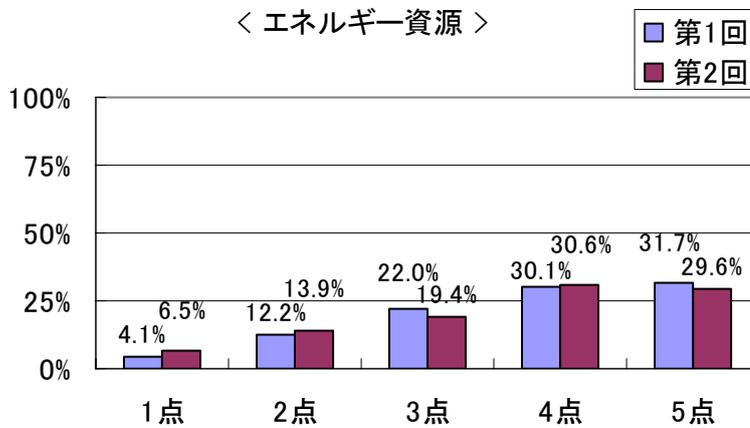


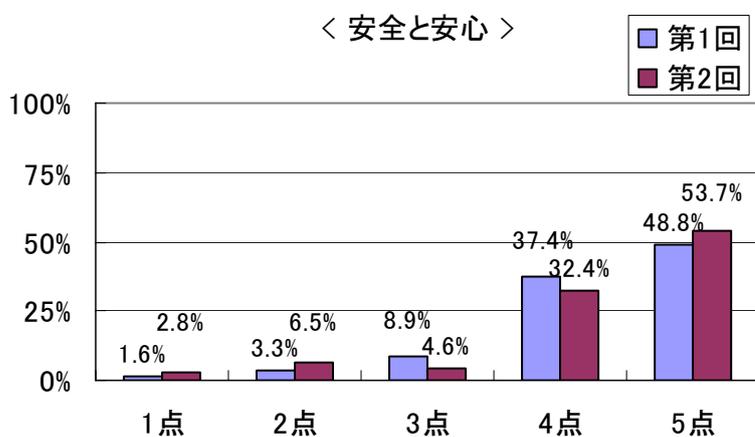
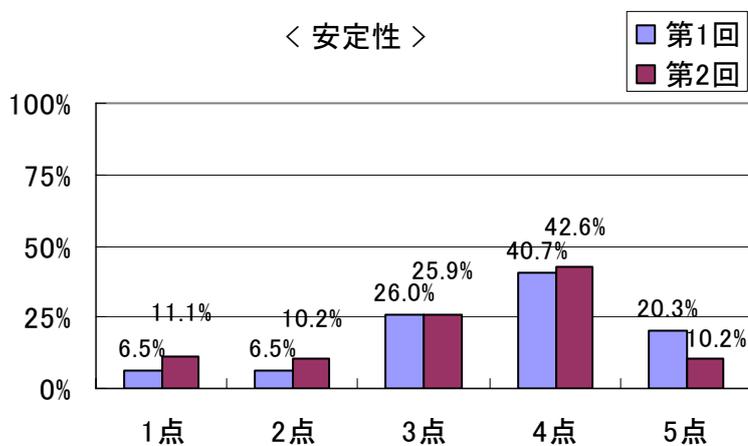
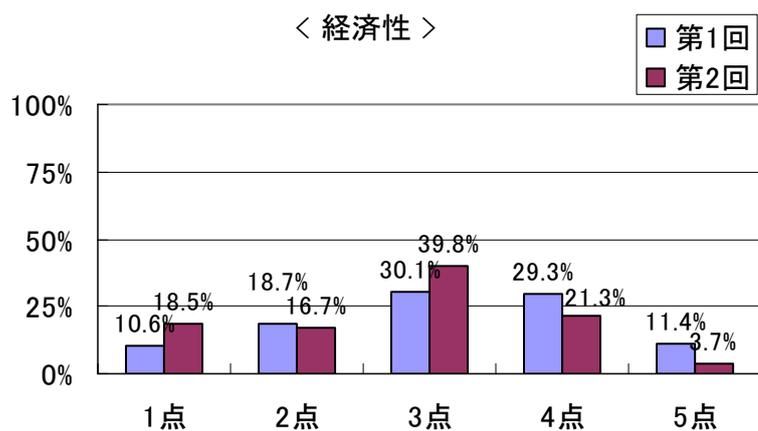
「関心度が低い」グループにおいては、第一回と第二回の結果に大きな変動が無い（集計結果のフィードバック効果があらわれなかった）ことが特徴である。どちらの回においても「安全と安心」と「環境影響」の選択者数が多かった。

一方、もっともフィードバック効果を受けたのは、「関心度が高い」グループで、「エネルギー資源」が第一回でトップであったが、第二回では大きく減少し、かわって「環境影響」が大きく増加してトップとなった。

（２）各条件の重要度

5つの条件各々について、その重要度を五段階評価してもらった。





第一回においては、

5点の選択者数が最も多かった条件は、「環境影響」「安全と安心」「エネルギー資源」

4点 同上 「安定性」

3点 同上 「経済性」

2点、1点が最も多かった条件はなかった。

第二回においては、

5点の選択者数が最も多かった条件は、「環境影響」(4%増)、「安全と安心」(5%増)

4点 同上

「安定性」(2%増)、

「エネルギー資源」(0.5%増)

3点 同上

「経済性」(8%増)

2点、1点が最も多かった条件はなかった。

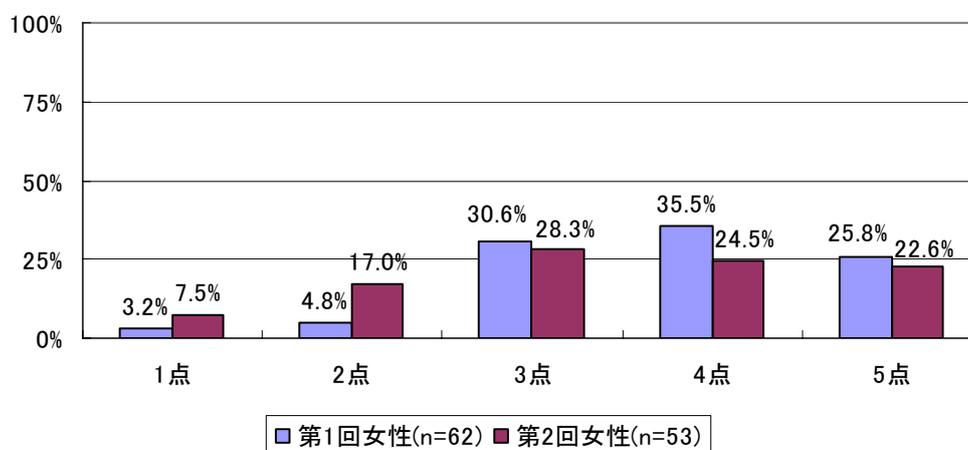
フィードバック効果により、「環境影響」「安全と安心」をより強く重視する結果となった。

最も重視すべき条件で最下位となり、ほとんどの回答者が選択しなかった「経済性」については、重要度で問うと中庸の3点を多くの人を選択しており、数%ではあるが、5点を選択する回答者もあり、1点から5点までまんべんなく選択されていることが特徴である。「エネルギー資源」も1点から5点まで比較的まんべんなく選択されている。

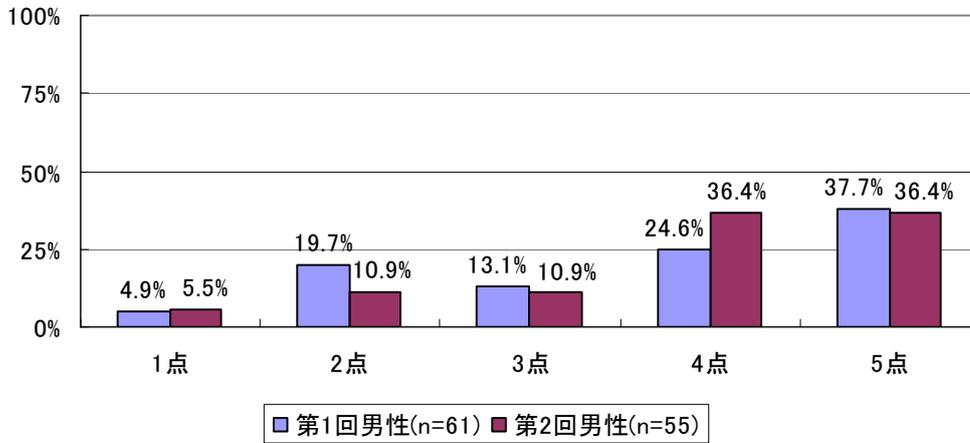
<属性別結果>

①性別 <参照：巻末資料1. 集計結果データ集 図2-2-6～図2-2-10>

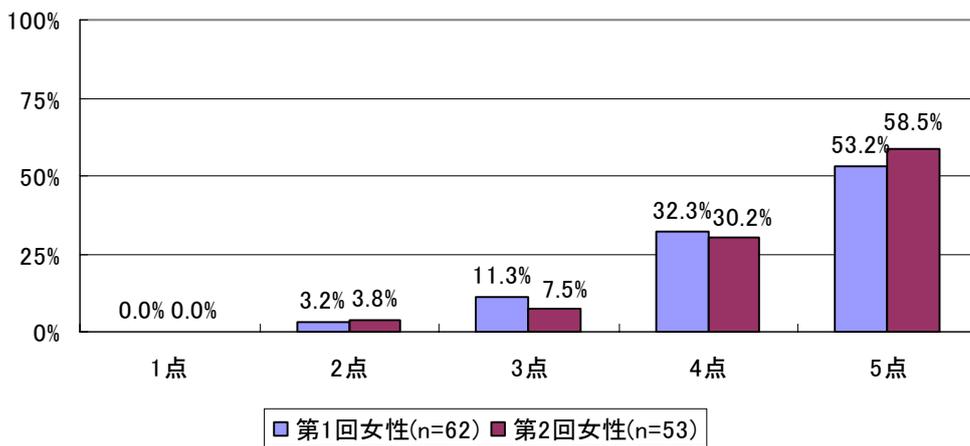
<エネルギー資源－女性>



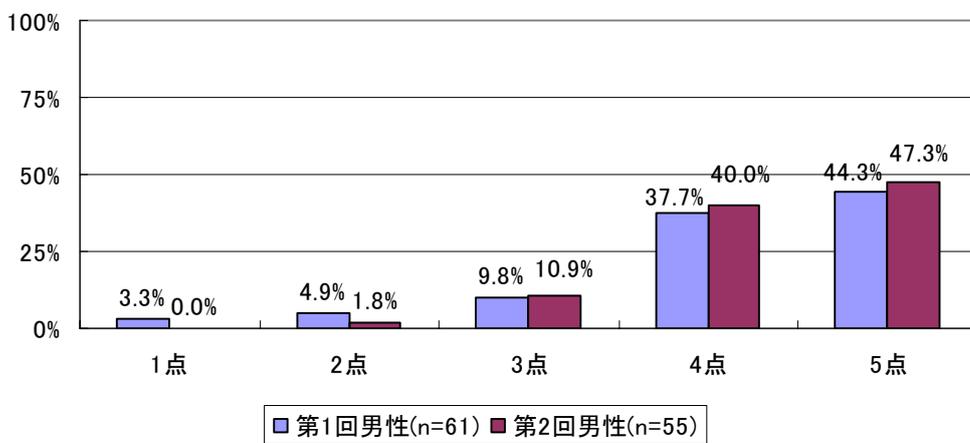
〈エネルギー資源－男性〉



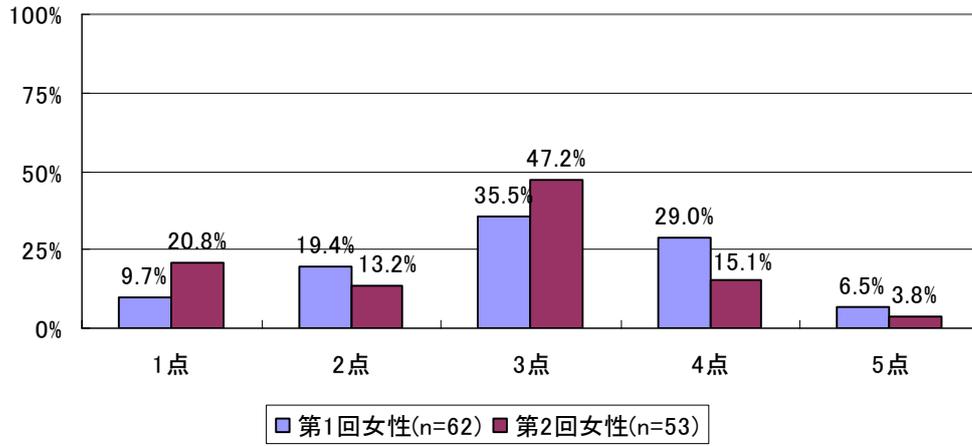
〈環境影響－女性〉



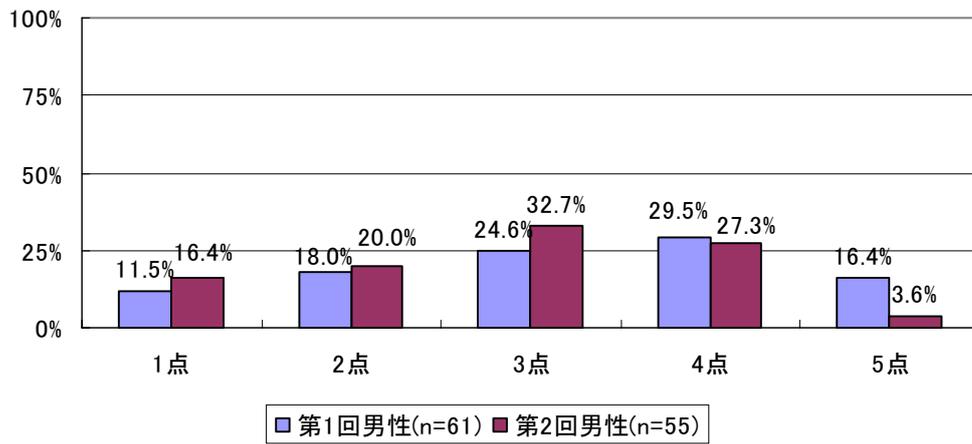
〈環境影響－男性〉



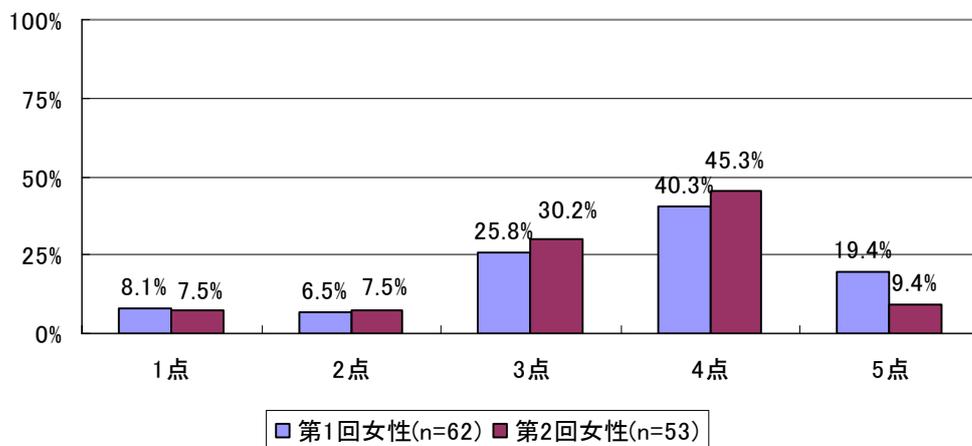
〈経済性－女性〉



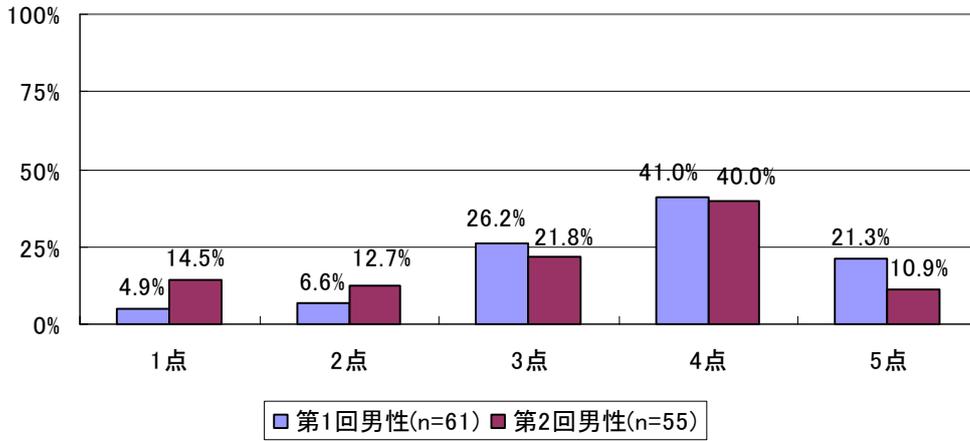
〈経済性－男性〉



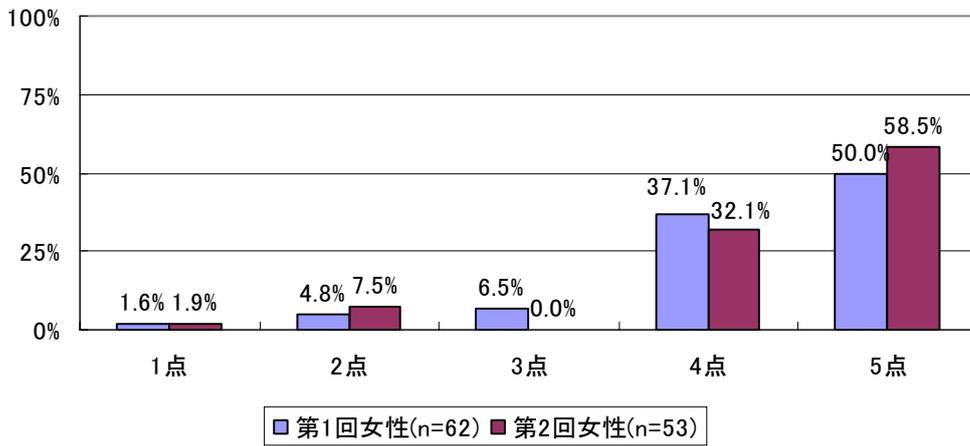
〈安定性－女性〉



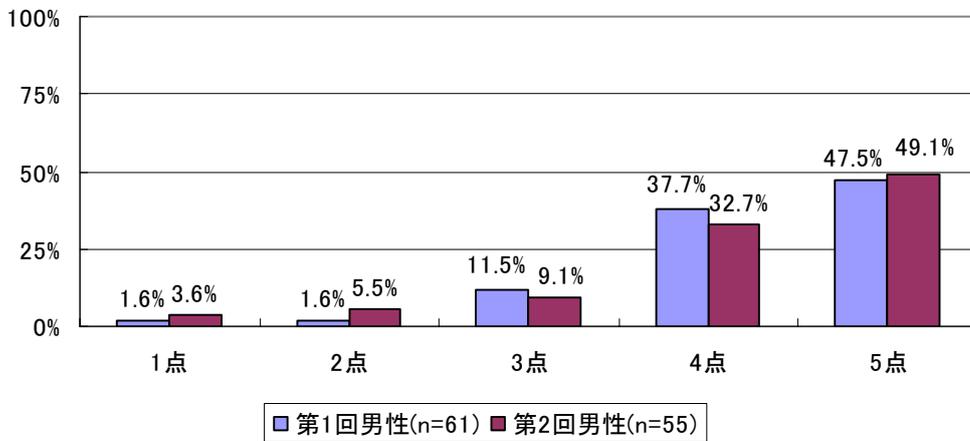
〈安定性－男性〉



〈安全と安心－女性〉



〈安全と安心－男性〉



女性においては、 (第一回) (第二回)

5点選択者数が最も多い条件	安全と安心 環境影響	安全と安心 環境影響
4点 同上	安定性 <u>エネルギー資源</u>	安定性
3点 同上	経済性	<u>エネルギー資源</u> 経済性

男性においては、	(第一回)	(第二回)
5点選択者数が最も多い条件	安全と安心 環境影響 エネルギー資源	安全と安心 環境影響 エネルギー資源
4点 同上	安定性	安定性
3点 同上	経済性	経済性

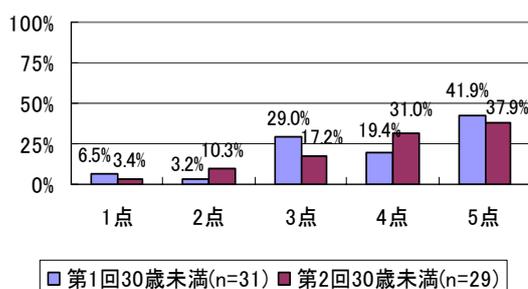
(注：下線は順位の変動のあったもの)

男性も女性も、最も重視する条件をきいた先の質問で、第二回目には「エネルギー資源」を選択する人が減少していたが、各条件個別の重要度をきいた本質問では、男性は、「エネルギー資源」を高く評価（第一回二回共に5点）をしており、引き続き高い評価をしていることが認められる結果となり、女性は、個別得点においても「エネルギー資源」の評価を下げる結果（4点から3点に低下）となっている。男性は女性より「エネルギー資源」を重視し、女性は男性より「安定性」を評価する結果となった。

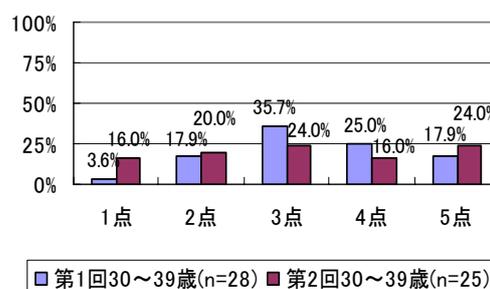
②年代別（各年代層の回答者数は20～30名程度と少数であることに注意のこと）

<参照：巻末資料1．集計結果データ集 図2-2-11～図2-2-15>

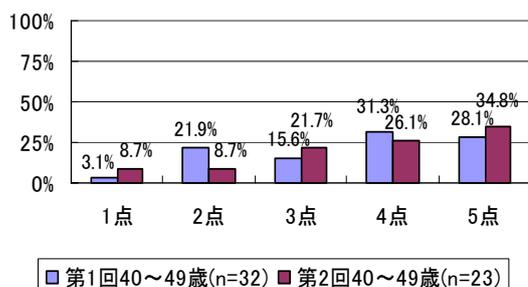
〈エネルギー資源－30歳未満〉



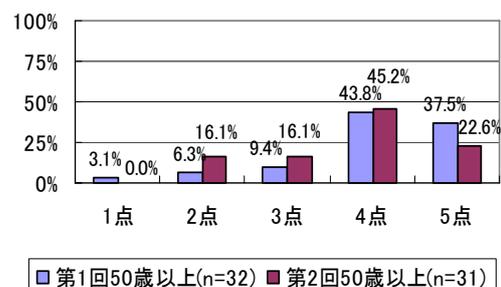
〈エネルギー資源－30～39歳〉



〈エネルギー資源－40～49歳〉

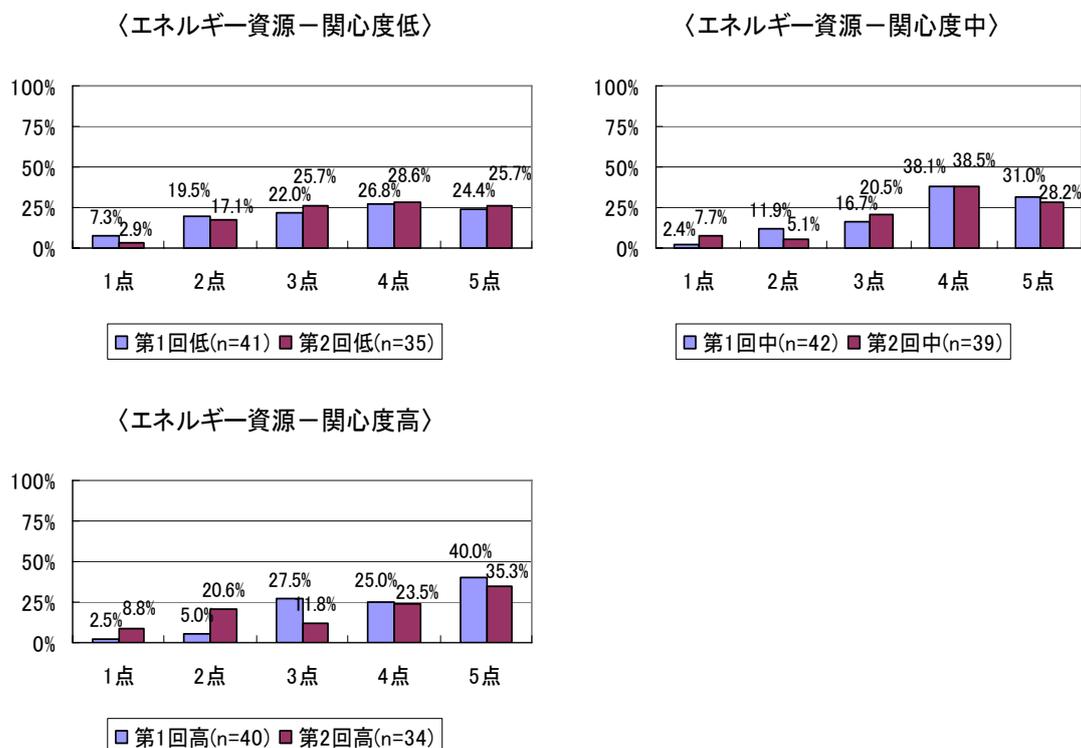


〈エネルギー資源－50歳以上〉



年代による回答傾向には多少のばらつきがあるものの、概ね全体傾向と大きな差は見られない。やや注目されるのは、「環境影響」と「エネルギー資源」において、30歳未満と50歳代が、他の年代より5点を多く選択していることである。

③関心度別 <参照：巻末資料1．集計結果データ集 図2-2-16～図2-2-20>



「関心度が高い」グループでは、「エネルギー資源」で高い重要度（5点）を選択する回答者数が多い結果で、特に第一回に明確な特徴がでている。（5点を選択する比率が、関心度が高い方から40%,31%,24%）

また、「関心度が低い」グループでは、「安全と安心」で高い重要度（5点）を選択する回答者数が多い傾向がみられる結果となった。（第二回で5点を選択する比率が、関心度が高い方から60%,59%,41%）

図3-3

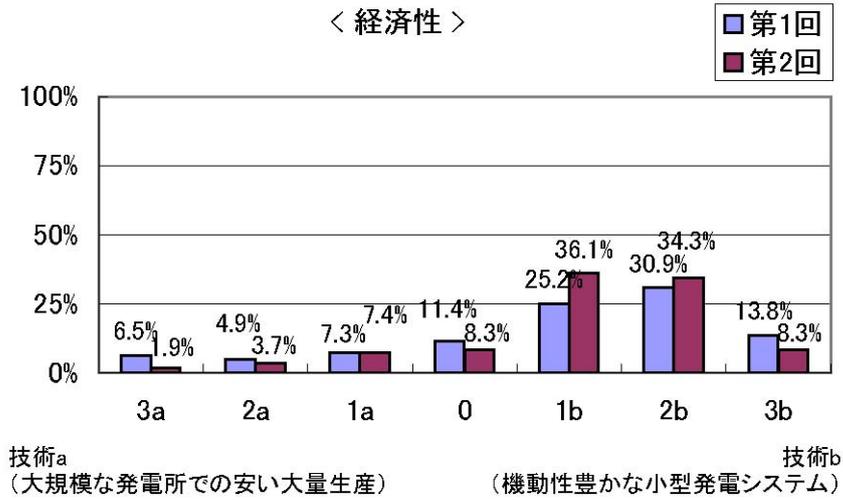


図3-4

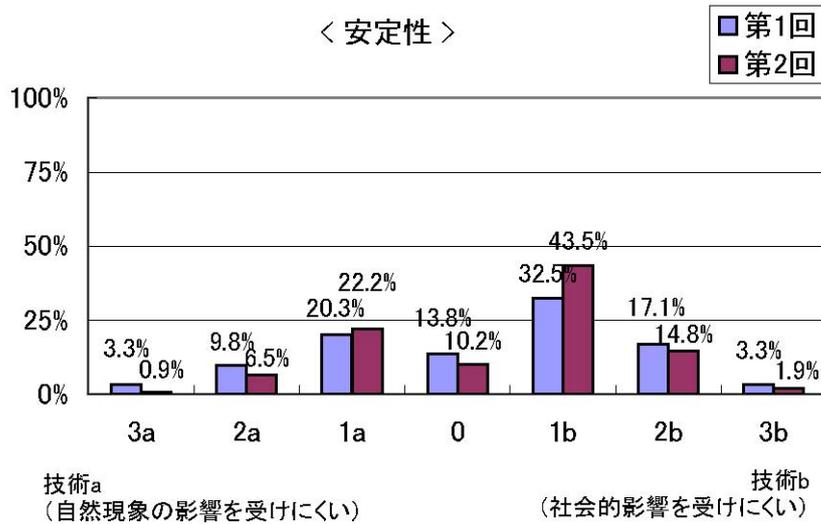
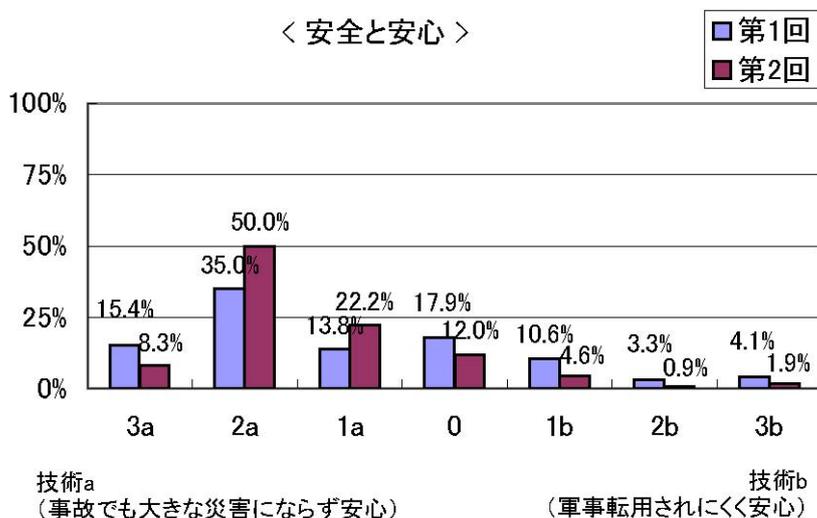


図3-5



	第一回	第二回
エネルギー資源	2a	2a (たくさんある > どこにでもある)
環境影響	0	0 (二酸化炭素がでない = 廃棄物がでない)
経済性	2b	1b (大規模 < 小型)
安定性	1b	1b (自然現象 < 社会現象)
安全と安心	2a	2a (事故災害小さい > 軍事転用されにくい)

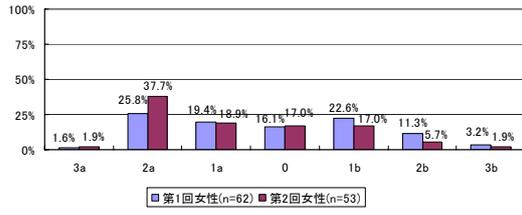
二回を通して、「エネルギー資源」は量が評価され、「環境影響」では二酸化炭素も廃棄物も両方が排出がないことが評価され、「経済性」では小型であることが、「安定性」では社会現象に影響されにくいことが、「安全と安心」では事故時の災害が小さいことが評価される結果となった。

フィードバック効果については、「経済性」の評点は0に近づく変化であり（明確な a または b の選択がなされない方向）、そのほかは、a または b をより明確に選択する方向に変化（例えば 2a の選択数が増加し、b 群の選択数が減少など）した。また「安定性」については、1a もわずかではあるが増加しており、意見が a または b に分かれる結果（a については微小な変化）となったことも注記したい。

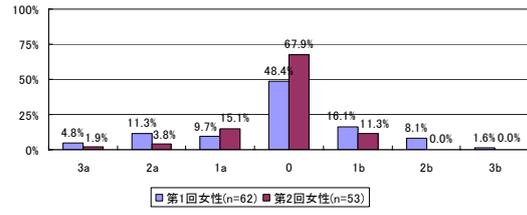
＜属性別結果＞

①性別 <参照：巻末資料1. 集計結果データ集 図3-6 ～ 図3-10＞

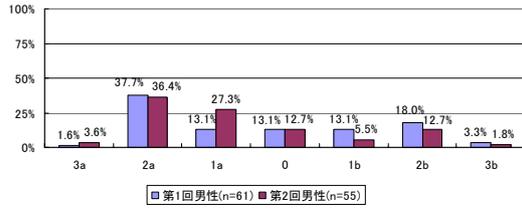
〈エネルギー資源－女性〉



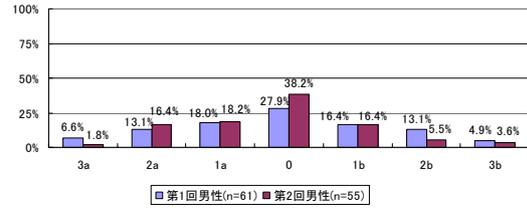
〈環境影響－女性〉



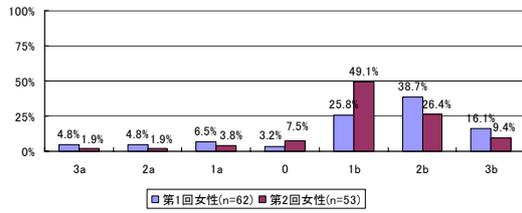
〈エネルギー資源－男性〉



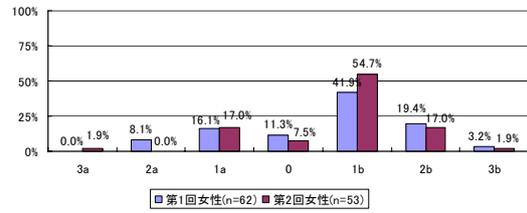
〈環境影響－男性〉



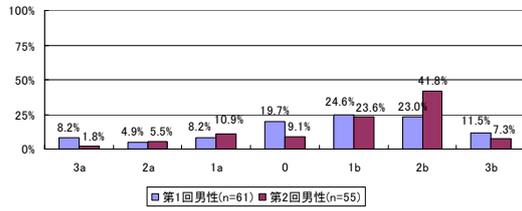
〈経済性－女性〉



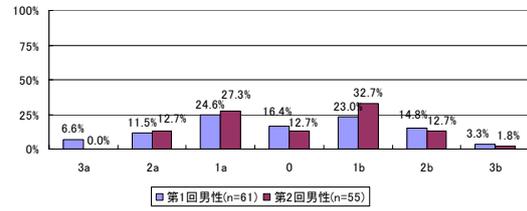
〈安定性－女性〉



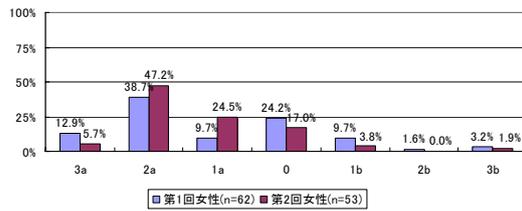
〈経済性－男性〉



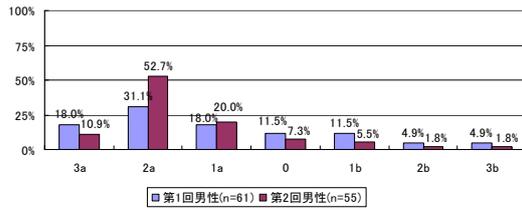
〈安定性－男性〉



〈安全と安心－女性〉



〈安全と安心－男性〉



性によって a b の選択が異なる、というほどの顕著な差はみられないが、詳細に見る

と差がみられる。

「環境影響」において、男性は女性より「二酸化炭素がでないこと」を評価する傾向にあり、女性は二酸化炭素と廃棄物の甲乙のつけられないという0を選択する人が多く、特に二回目では、7割近くに達している。

「経済性」において、男性は女性より「大規模」を評価する傾向が強い。

「安定性」で、男性は女性より、「自然現象の影響を受けないこと」を評価する傾向が強い。

「安全と安心」において、男女共に「軍事転用されないこと」は高くは評価されていないが、事故時に災害が小さいことと同程度に評価する（甲乙つけられない）とするのは、男性より女性に多く見られた。

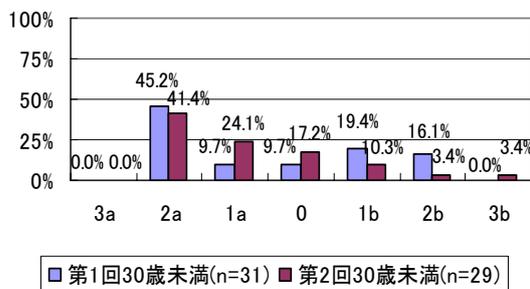
総括すると、男性は女性に比較し、「二酸化炭素がでず、大規模で、自然現象の影響を受けないもの」をより高く、また、女性は男性に比較し、「廃棄物がでず、小型で、社会現象の影響を受けず、軍事転用されないもの」を高く評価する傾向があると読みとることができる。

②年代別（各年代層の回答者数は20～30名程度と少数であることに注意のこと）

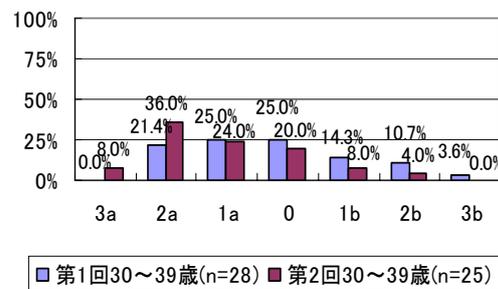
＜参照：巻末資料1．集計結果データ集 図3-11～図3-15＞

年代によってa bの選択が異なる、というほどの顕著な差はみられず、また概ね全体傾向は同じである。ただし、「環境影響」についてのみ、五十歳以上で他の年代に比べて「二酸化炭素が出ない」ことを高く評価していることは特徴的である。

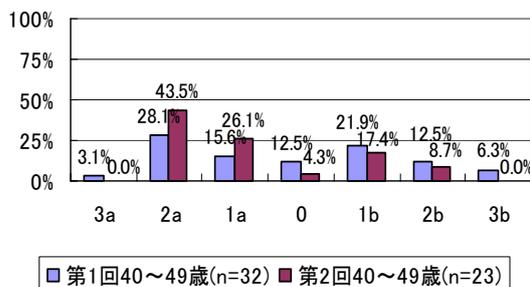
〈エネルギー資源－30歳未満〉



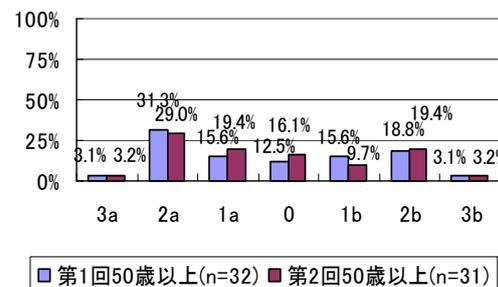
〈エネルギー資源－30～39歳〉



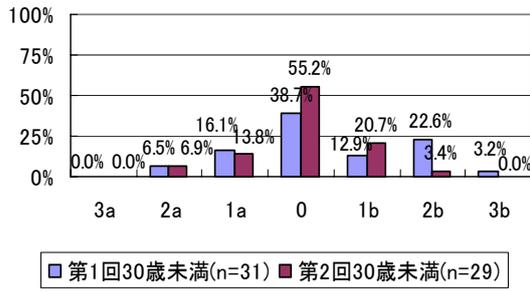
〈エネルギー資源－40～49歳〉



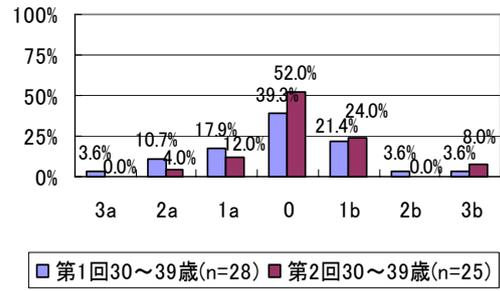
〈エネルギー資源－50歳以上〉



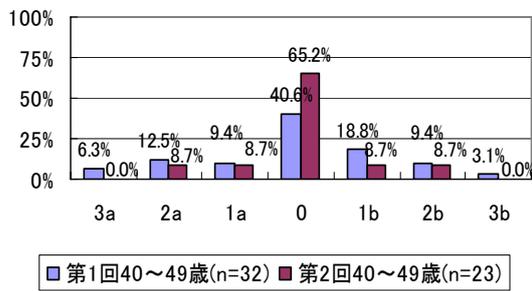
〈環境影響－30歳未満〉



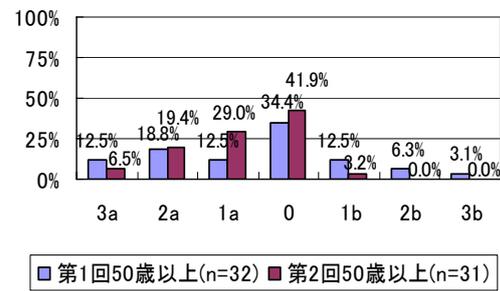
〈環境影響－30～39歳〉



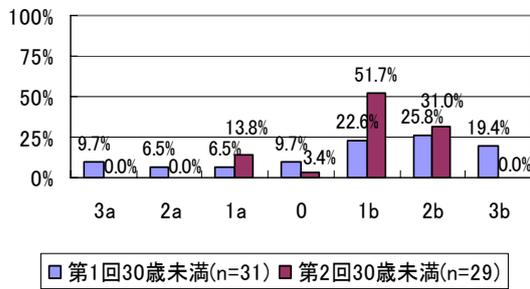
〈環境影響－40～49歳〉



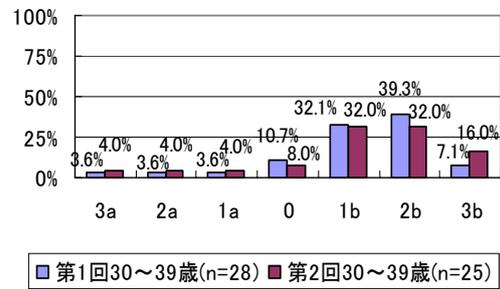
〈環境影響－50歳以上〉



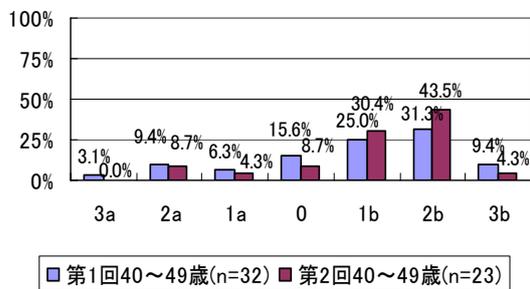
〈経済性－30歳未満〉



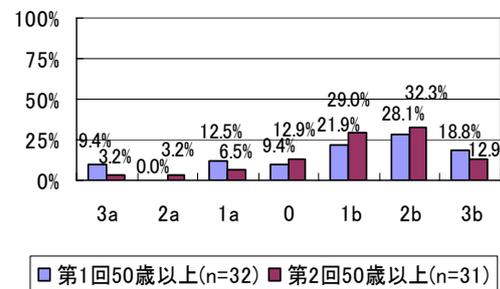
〈経済性－30～39歳〉



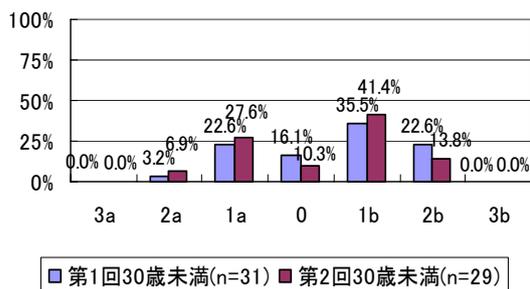
〈経済性－40～49歳〉



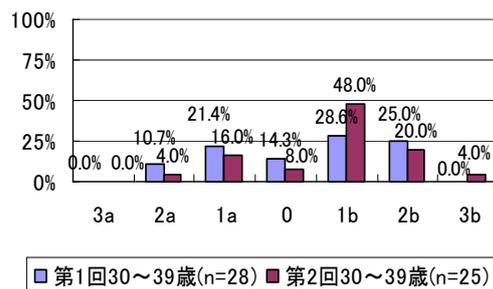
〈経済性－50歳以上〉



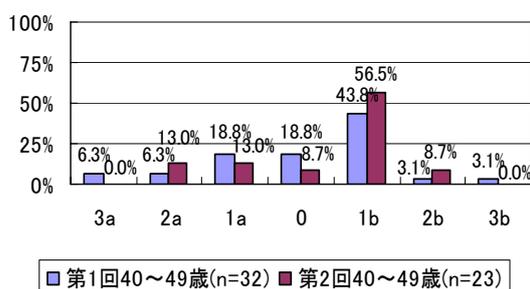
〈安定性－30歳未満〉



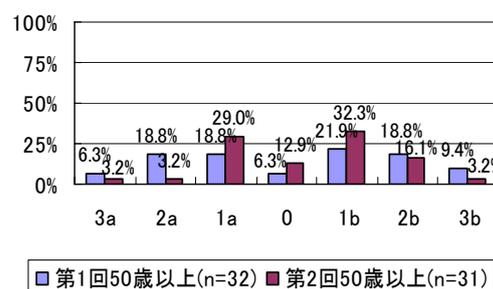
〈安定性－30～39歳〉



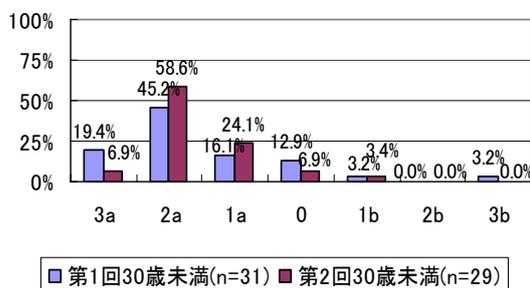
〈安定性－40～49歳〉



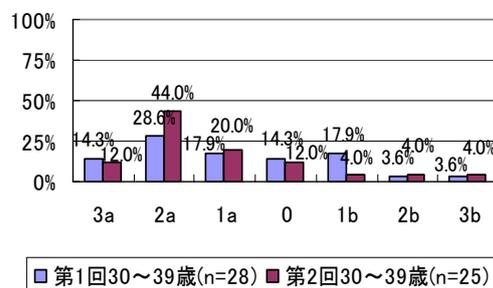
〈安定性－50歳以上〉



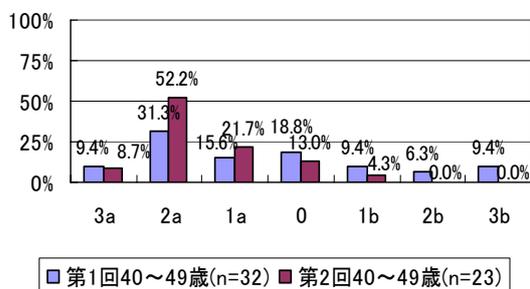
〈安全と安心－30歳未満〉



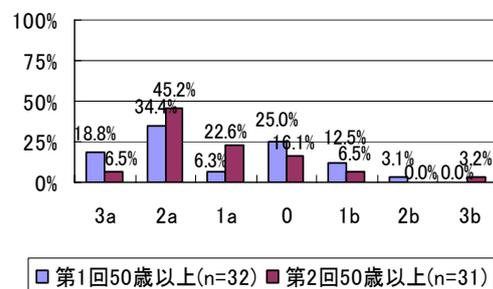
〈安全と安心－30～39歳〉



〈安全と安心－40～49歳〉



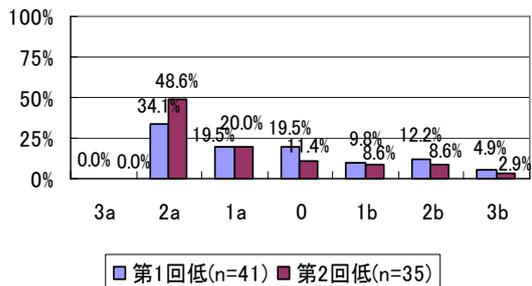
〈安全と安心－50歳以上〉



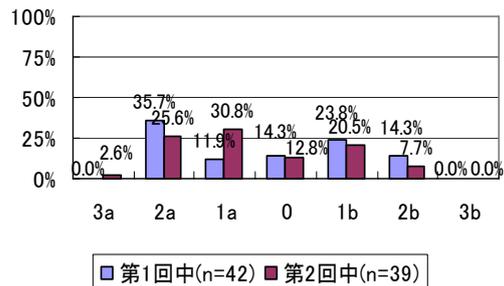
③関心度別 <参照：巻末資料1. 集計結果データ集 図3-16～図3-20>

関心度による明確な差はみられない。ほぼ同傾向である。

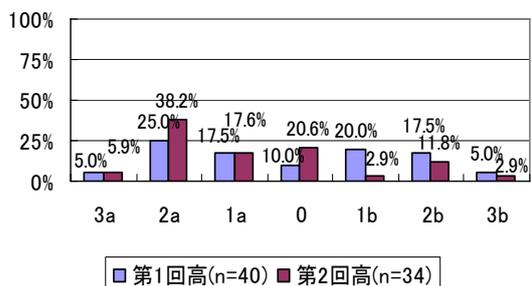
〈エネルギー資源－関心度低〉



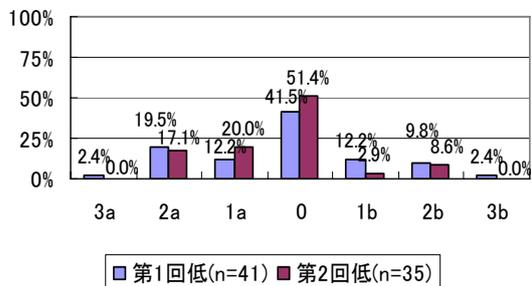
〈エネルギー資源－関心度中〉



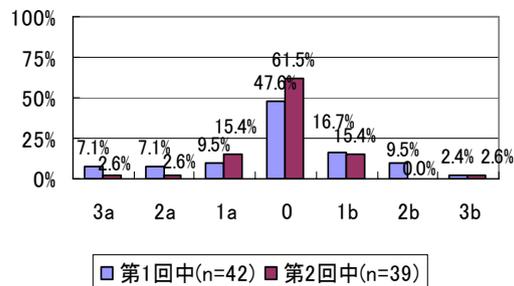
〈エネルギー資源－関心度高〉



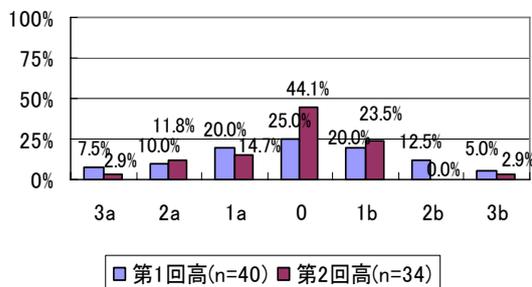
〈環境影響－関心度低〉



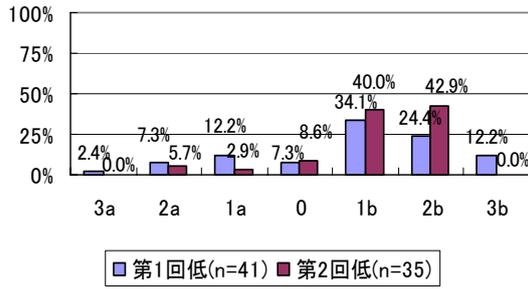
〈環境影響－関心度中〉



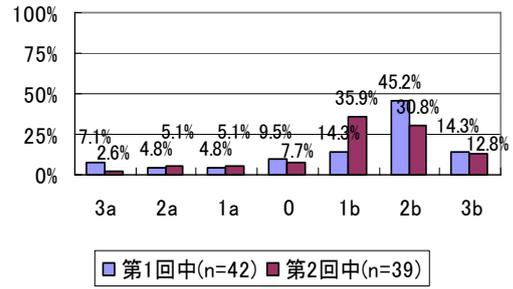
〈環境影響－関心度高〉



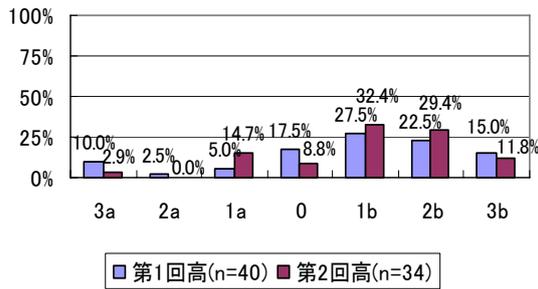
〈経済性－関心度低〉



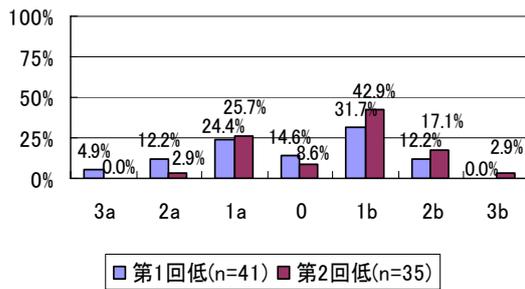
〈経済性－関心度中〉



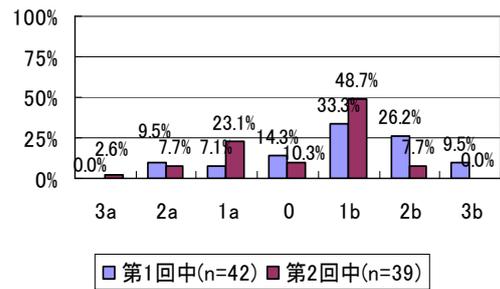
〈経済性－関心度高〉



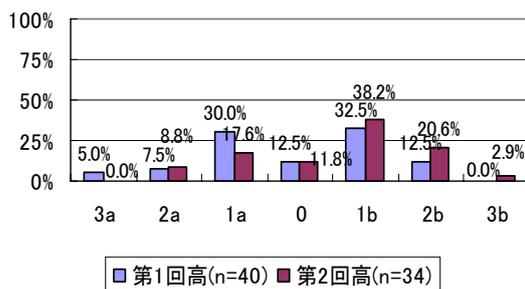
〈安定性－関心度低〉



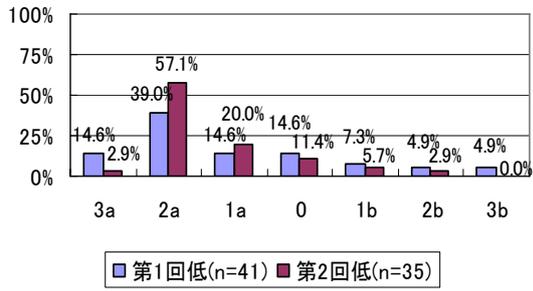
〈安定性－関心度中〉



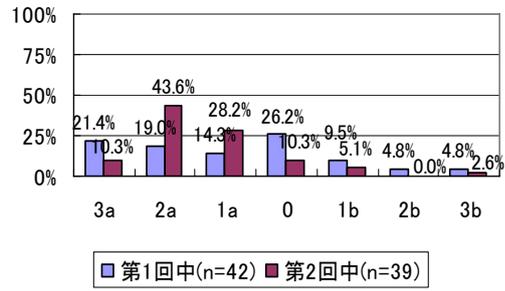
〈安定性－関心度高〉



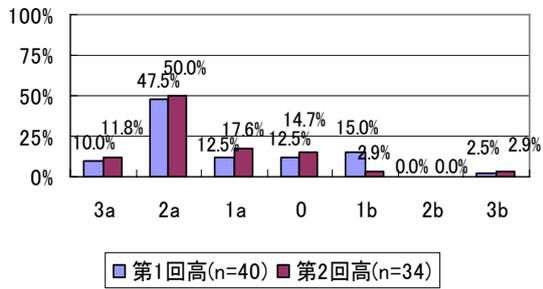
〈安全と安心－関心度低〉



〈安全と安心－関心度中〉



〈安全と安心－関心度高〉



参考資料 未来のエネルギー技術の特徴の評価についてのアンケート（第2回）

平成16年11月4日

未来のエネルギー技術の特徴の評価についてのアンケート(第2回)

◆◆第2回調査の回答にあたって◆◆

第2回調査票には、第1回調査にご協力いただいた方々の回答の集計結果を掲載しています。その結果をご覧ください、再度、アンケートにお答えください。

回答内容は、第1回調査と同じままでも結構ですし、集計結果をみて、内容を変更していただいても構いません（ご自身の回答内容は、お手元に保管されている第1回調査票でご確認ください。）

◆◆アンケート調査の目的◆◆

環境とエネルギーの問題は、世代をも超えた非常に長期的課題です。未来のエネルギーを使うことができるのは、ずっと先の世代の方々ですが、開発のための費用（たとえば税金など）の多くを負担するのは、現代の方々です。

したがって、現代の一般消費者の方々にも、どのような未来のエネルギーを開発したらよいか、充分に考えていただくことが大切となります。

その第一歩として、「未来のエネルギー開発の結果、どんな特徴をもった技術が生まれれば、素晴らしいと思うか」について、みなさま一般消費者の方々のお考えをお伺いするアンケートを実施することといたしました。

このアンケートは、一般的なアンケートよりも、読んでいただく部分が多いものですが、順にご一読の上、直感적으로ご回答下さい。

未来のエネルギーの価値有る開発のために、どうかアンケートへのご協力をおねがいます。

アンケートにご回答いただく前にまず、次の説明をお読み下さい。

◆◆アンケートの内容と流れ◆◆

エネルギー技術にとって望ましいことは、以下の5種の条件だと考えられます。

1. エネルギー資源	●そのエネルギー、あるいはその燃料などがたくさんあること。 ●そのエネルギー、あるいはその燃料などがどこにでもあること。
2. 環境影響	●地球温暖化につながる二酸化炭素（CO ₂ ）の量が少ないこと。 ●廃棄物が少ないか、処理しやすいこと。

3. 経済性	<ul style="list-style-type: none"> ●大規模な発電所で安い電力をつくれること。 ●電気代はやや高いが機動性ある小型の発電システムであること。
4. 安定性	<ul style="list-style-type: none"> ●自然現象の影響を受けにくいこと。 ●社会的影響を受けにくいこと。
5. 安全と安心	<ul style="list-style-type: none"> ●事故になっても大きな損害になることがほとんどないこと。 ●軍事に転用されることが考えにくいこと。

これらの5種の条件を同時にすべて100点満点で満たすエネルギーがあればよいのですが、実際には、現在のところ存在していません。必ず、長所、短所があるものなのです。

そこで、以下のアンケートでは、

- (1) まず、Q1とQ2で、これらの5種の条件がどれくらい重要だと思うか、その大きさをお答えいただきます。(評価項目の重み付け)
- (2) 続いて、Q3以降では、各条件の中の複数の事柄(上の表の●)について、どちらがより重要であるかについて考えていただくための質問にお答えいただきます。(条件別の事柄の比較評価)

それでは、アンケートへのご回答を順にお願いします。

(1) 評価項目の重み付け

次のQ1、Q2では、各条件の重要度レベルを点数（1点～5点）で評価していただきます。直感でお答えください。

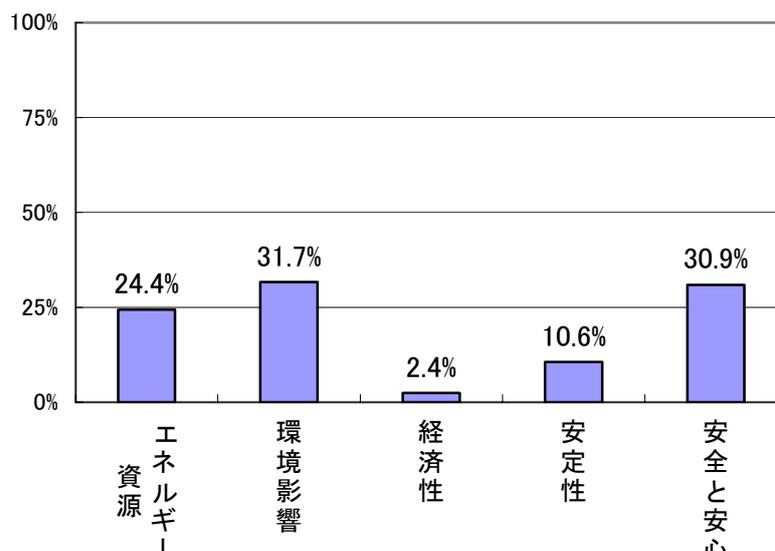
Q1 あなたは、未来のエネルギーの開発に当たって、次の5つ条件のどれを最も重視しますか。一つを選んで、[] に5を記入してください。

- [] エネルギー資源
- [] 環境影響
- [] 経済性
- [] 安定性
- [] 安全と安心

注)左の欄には一つだけに
「5」を記入してください。

【第1回調査の結果】

※図中の数値は、それぞれの選択肢の回答の割合を示しています。



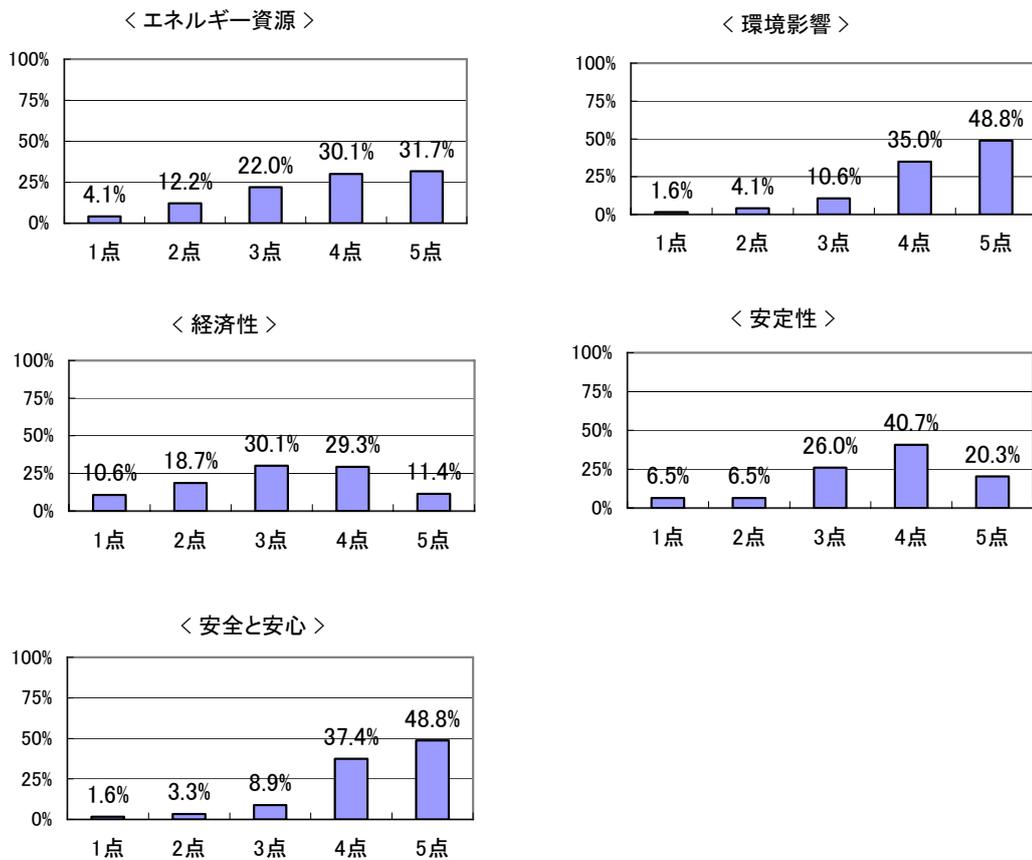
Q2 まず、Q1の回答を下に転記してください。その上で、転記した最も重要な条件に比較して、そのほかの4条件のすべてについて、どの程度重要であるか、1, 2, 3, 4, 5点の中から適する重みを選択して、記入してください。順番ということではなく、重要度で回答下さい。もし全てが同じ重みであるとお考えの場合は、全てに5を記入していただいてもかまいません。

- [] エネルギー資源
- [] 環境影響
- [] 経済性
- [] 安定性
- [] 安全と安心

注)Q1で「5」と回答した欄には「5」を記入してください。
その他の4つの欄には、「1、2、3、4、5」のいずれかの

【第1回調査の結果】

※図中の数値は、それぞれの条件について、1点～5点をつけた回答の割合を示しています。



Q3 <エネルギー資源> たくさんあるか、どこにでもあるか

技術 a (たくさんある)

: そのエネルギー資源は地球上にはたくさんありますが、限られた場所にしかない
ので、その場所以外の地域の人には使いたい場所まで運んでくる必要があります。

技術 b (どこにでもある)

: そのエネルギー資源は地球上で十分に広く分布していますが、供給できるエネ
ルギーには限りがあります。

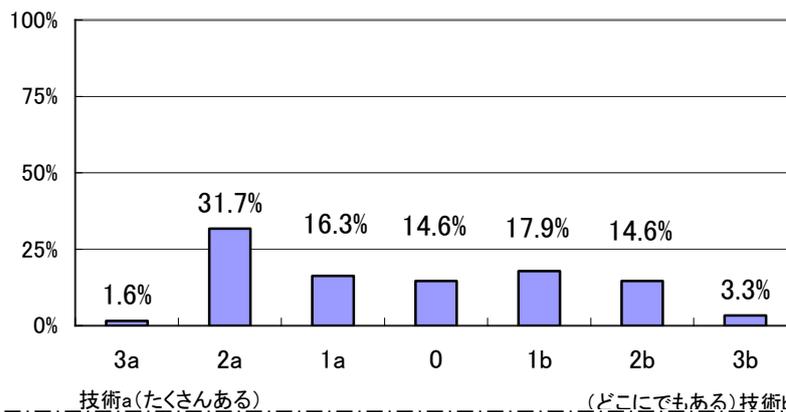
【回答欄】



【第1回調査の結果】

※図中の数値は、それぞれの選択肢の回答の割合を示しています。

<エネルギー資源>



Q 4 <環境影響> 二酸化炭素 (CO₂) が出ないか、廃棄物が出ないか

技術 a (二酸化炭素 (CO₂) が出ない)

: 温暖化につながる二酸化炭素 (CO₂) の発生は極めて微少です。
 しかし、処理のしにくい、または非常に大量の廃棄物ができる性質で、
 捨て場所やその処分に苦労します。

技術 b (廃棄物が出ない)

: 廃棄物がほとんど出ません。
 しかし、温暖化を招く二酸化炭素 (CO₂) がたくさん出ます。

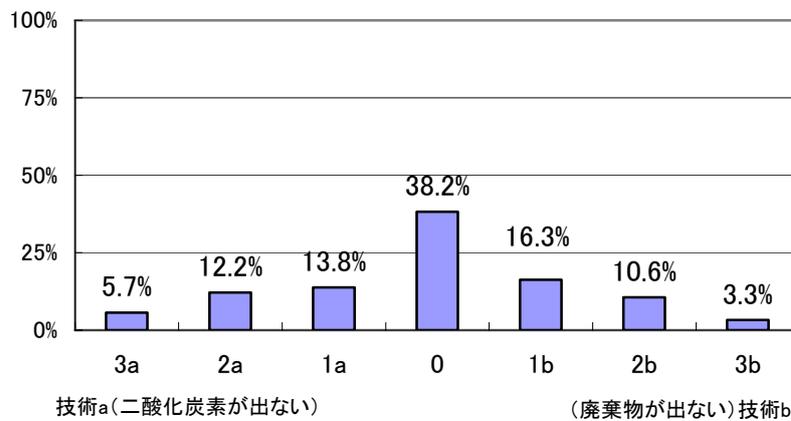
【回答欄】



【第1回調査の結果】

※図中の数値は、それぞれの選択肢の回答の割合を示しています。

<環境影響>



Q 5 <経済性> 大規模な発電所での安い大量生産か、機動性豊かな小型発電システムか

技術 a (大規模な発電所で安い電力をつくれる)

: 大型の発電所で安く大量に電気が作れます。電気代は今と同じくらいです。
ただし、電力会社のような大きな設備でしか使えない大掛かりな技術です。

技術 b (機動性豊かな小型の発電システムである)

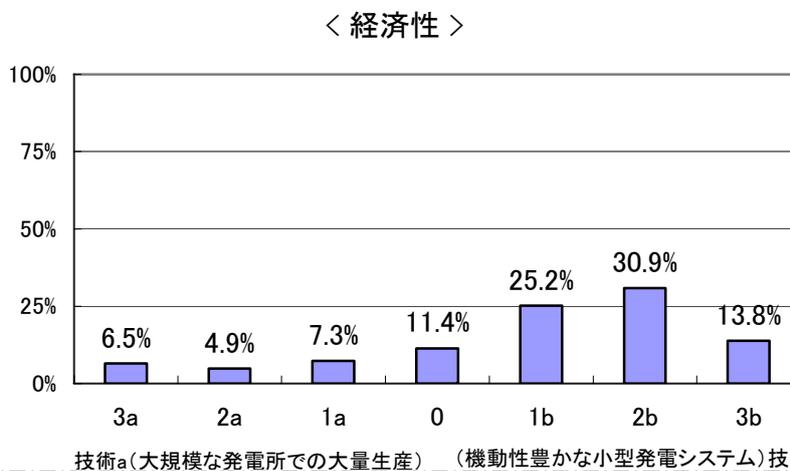
: 小型の発電装置としても利用可能な技術です。
各家庭に置いて必要なときだけ発電することができます。
発電装置の設備費と保守費が実質的な電気代です。
災害時でも電気を得られる可能性があります。

【回答欄】



【第1回調査の結果】

※ 図中の数値は、それぞれの選択肢を回答の割合を示しています。



Q 6 <安定性> 自然現象の影響を受けにくい、社会的影響を受けにくい

技術 a (自然現象の影響を受けにくい)

: このエネルギー技術は、自然現象の影響を受けにくいですが、社会的影響を受けやすい技術です。(社会的影響とは、例えば海外での紛争などの影響で燃料を輸入出来なくなるとか、近隣諸国にその技術を使うことを反対されて、故障していないのに発電所が止まるなどです。)

技術 b (社会的影響を受けにくい)

: このエネルギー技術は、自然現象の影響を受けて連続的に長時間運転は出来なるとか、同じように運転しても得られるエネルギーが大きく変わるなどの性質をもちます。しかし、社会的影響を受けて止まることはほとんど考える必要がありません。

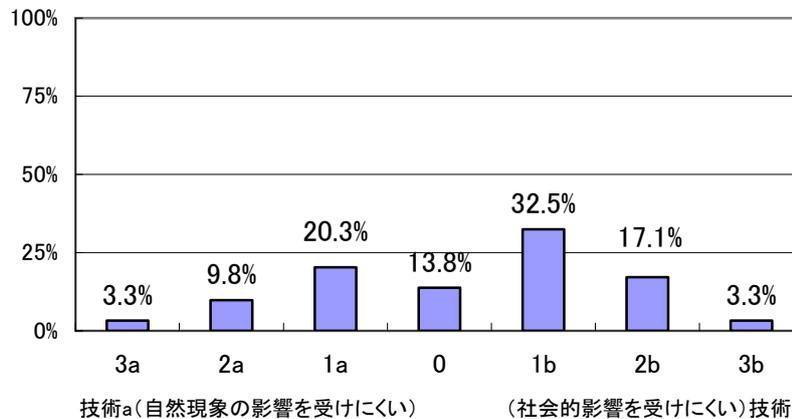
【回答欄】



【第1回調査の結果】

※図中の数値は、それぞれの選択肢を回答の割合を示しています。

<安定性>



Q7 <安全と安心> 大きな災害にならないか、軍事転用されにくい

技術 a (事故でも大きな災害にならず安心)

: 事故が起きにくく、十分に安全に設計されています。

しかも、万が一の事故などでも、大きな災害になる可能性がほとんど考えられない、安心感の高いエネルギー技術です。

技術 b (軍事転用されにくく安心)

: テロリストなどに悪用されることが考えにくいエネルギー技術で、その観点で安心です。

【回答欄】

(事故でも大きな災害にならず安心)

(軍事転用されにくく安心)

技術 a

技術 b

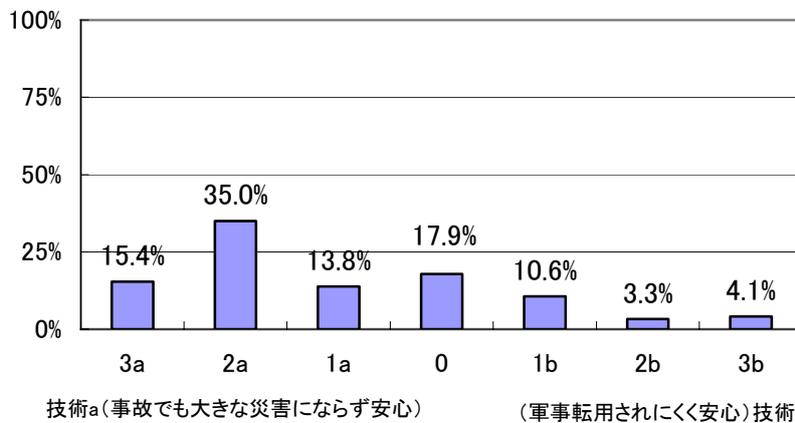
↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑
 3a 2a 1a 0 1b 2b 3b

← 技術 a を重視する考えが強い 同じくらい 技術 b を重視する考えが強い →

【第1回調査の結果】

※図中の数値は、それぞれの選択肢を回答の割合を示しています。

<安全と安心>



アンケートは以上です。ご協力ありがとうございました。

★続いて、別紙<返送用のご回答用紙>に、あなたのご回答内容を転記してください。ご返送いただくのは、回答用紙のみです。

第3章 各種の革新的未来エネルギー技術の評価

3.1 調査目的

「 新的未来エネルギー技術に対する専門家の評価に関する調査」は、エネルギーの専門家の視点から複数の評価 目に沿って各エネルギー源の特性の比較を行うもので、今後、各種エネルギー源の特性を客観的に評価する手法などを検討するための基礎データを収めることを目的とする。

3.2 調査方法

調査対象 エネルギー分野の専門家 計 50 名

実施方法 郵送調査

調査 目 評価 目および評価軸として 目 12 種を提示 表 。

特性比較評価対象のエネルギー源として 種を提示 表 。

1 最も優れているエネルギー源 エネルギーシステム の評価

目 12 種の評価軸ごとに、「最も優れている」と思われるエネルギー源 エネルギーシステム を選択し、「5 点」をつけてもらった 複数選択可 。

(2) エネルギー源の特性の相対評価

「最も優れているエネルギー源 エネルギーシステム 」の 5 点を基準として、他のエネルギー源の特性を 0 5 点未満 小数点以下第一位まで の相対評価をしてもらった。

参照 巻末資料 調査票

3.3 回収率

対象者数 50 名 有効回答数 28 名 回収率 56

表 評価 目および評価軸

評価 目	評価軸
●エネルギー資源	1)資源量 そのエネルギー、あるいはその燃料などがたくさんあること。 2)偏在性 そのエネルギー、あるいはその燃料などがどこにでもあること。
●環境影	1)CO 発生量 地球温暖化につながる二酸化炭素 CO の出る量が少ないこと。 2)廃棄物量と処理性 廃棄物が少ないか、処理しやすいこと。
●経済性	1)建設費 建設費が安いこと。 2)運転費 運転費が安いこと。
●安定性	1)自然現象に対する耐性 自然現象の影 を受けにくいこと。 2)社会的影 に対する耐性 社会的影 を受けにくいこと。
●運用性	1)大型 中管理型への適性 大量のエネルギーを一括管理して供給できること。 2)設置場所の自由度 設備の設置場所が自由に選べること。
●安心感	1)事故時のハザード 事故になっても大きな災害になることがほとんどないこと。 2)大量破壊兵器への転用可能性 大量破壊兵器などに転用されることが考えにくいこと。

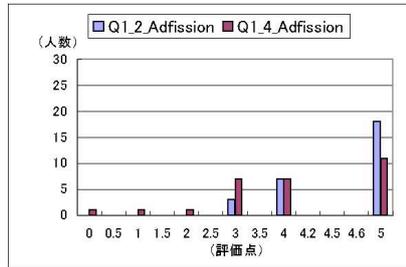
表 特性比較評価対象のエネルギー源

エネルギー源	略称
CO ₂ 回収付き先進石炭火力 Clean Coal Technology	CCT
SOFC トップコンバインドサイクル 天然ガス	SOFC
太陽光発	Solar
力発	Wind
宇宙太陽光発 衛星	SPS
先進核分裂炉 海水ウラン利用ワンスルー軽水炉、FBR	Ad-fission
核融合炉 トカマク方式を基準とする	Fusion

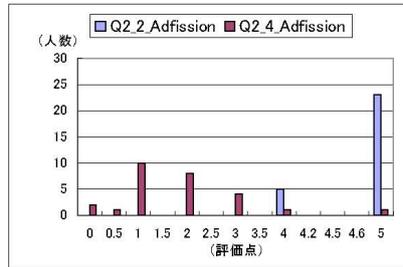
3. 4 集計結果の図表

<先進核分裂炉(海水ウラン利用ワンスルー軽水炉、FBR) (Ad-fission)>

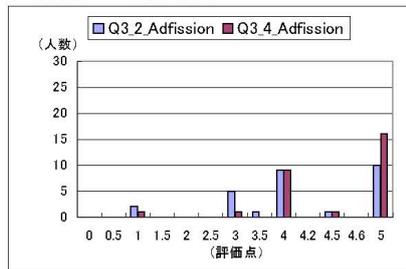
■ 資源量 と ■ 偏在性



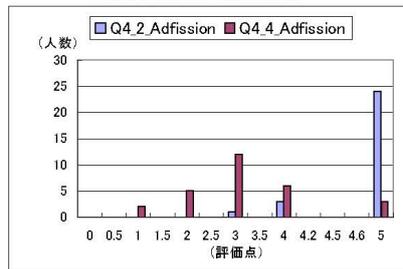
■ CO2発生量 と ■ 廃棄物と処理性



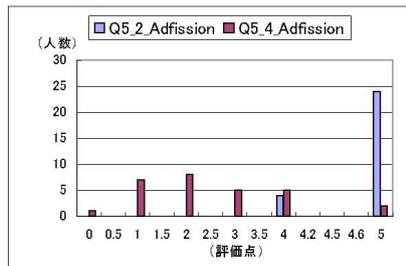
■ 建設単価 と ■ 発電単価



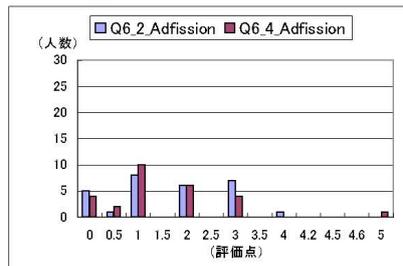
■ 自然現象に対する耐性 と ■ 社会的影響に対する耐性



■ 大型集中管理型への適正 と ■ 設置場所の自由度

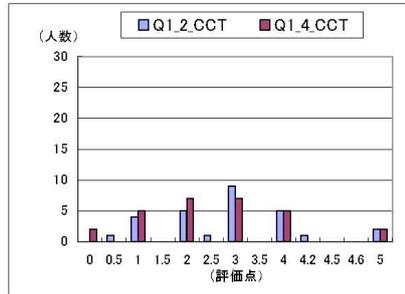


■ 事故時のハザードポテンシャル と ■ 大型破壊兵器への転用可能性

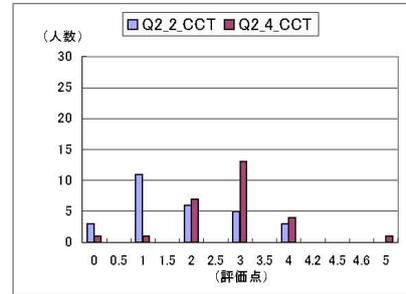


<CO2回収付き先進石炭火力(CCT)>

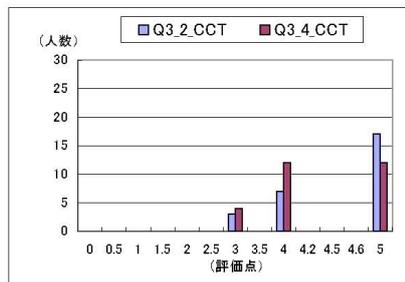
■ 資源量 と ■ 偏在性



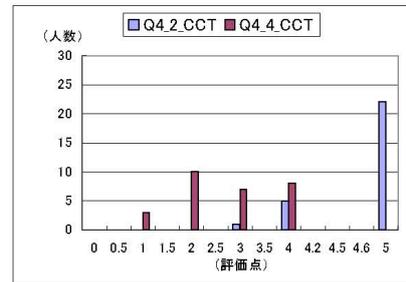
■ CO2発生量 と ■ 廃棄物と処理性



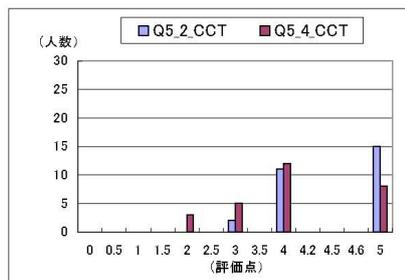
■ 建設単価 と ■ 発電単価



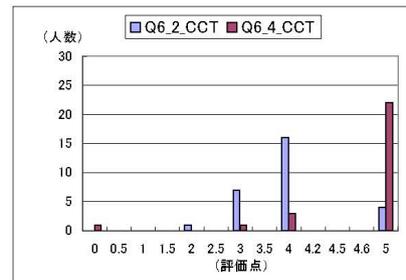
■ 自然現象に対する耐性 と ■ 社会的影響に対する耐性



■ 大型集中管理型への適正 と ■ 設置場所の自由度

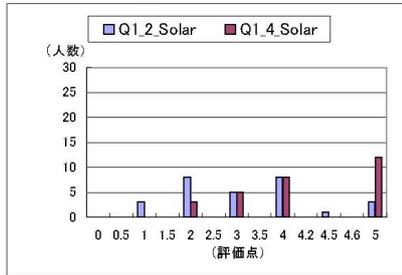


■ 事故時のハザードポテンシャル と ■ 大型破壊兵器への転用可能性

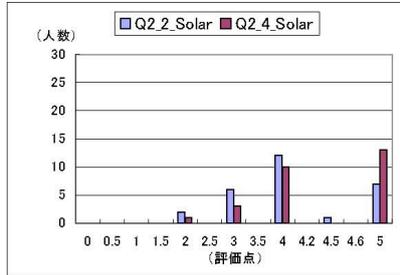


<太陽光発電(Solar)>

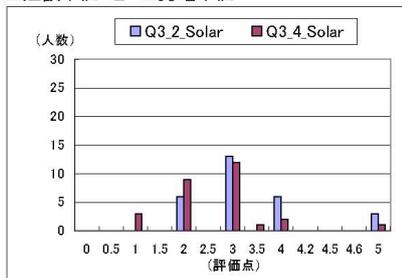
■ 資源量 と ■ 偏在性



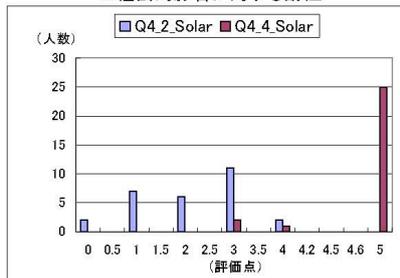
■ CO2発生量 と ■ 廃棄物と処理性



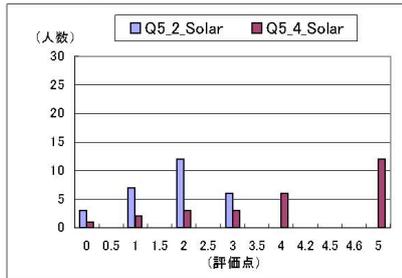
■ 建設単価 と ■ 発電単価



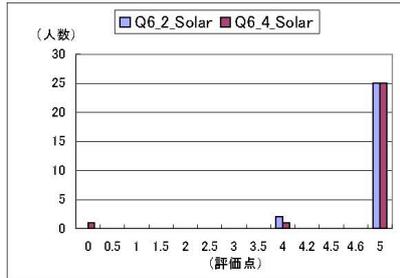
■ 自然現象に対する耐性 と ■ 社会的影響に対する耐性



■ 大型集中管理型への適正 と ■ 設置場所の自由度

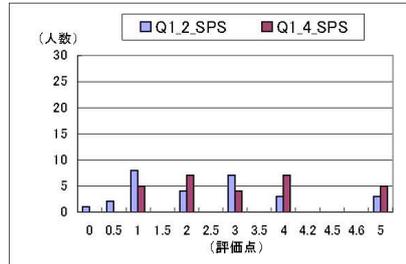


■ 事故時のハザードポテンシャル と ■ 大型破壊兵器への転用可能性

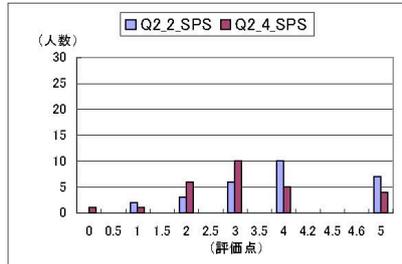


<宇宙太陽光発電衛星(SPS)>

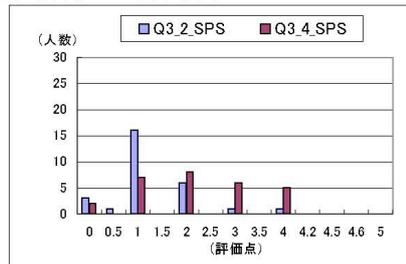
■ 資源量 と ■ 偏在性



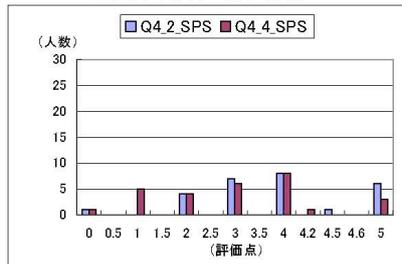
■ CO2発生量 と ■ 廃棄物と処理性



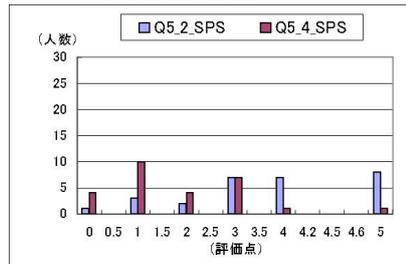
■ 建設単価 と ■ 発電単価



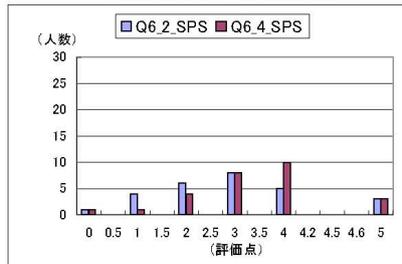
■ 自然現象に対する耐性 と ■ 社会的影響に対する耐性



■ 大型集中管理型への適正 と ■ 設置場所の自由度

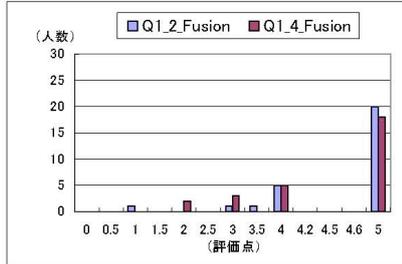


■ 事故時のハザードポテンシャル と ■ 大型破壊兵器への転用可能性

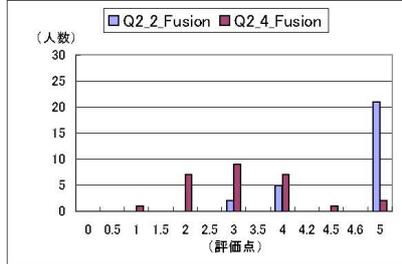


<核融合炉(トカマク方式を基準とする)(Fusion)>

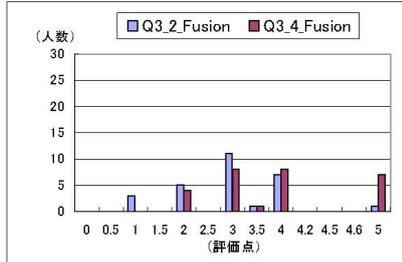
■ 資源量 と ■ 偏在性



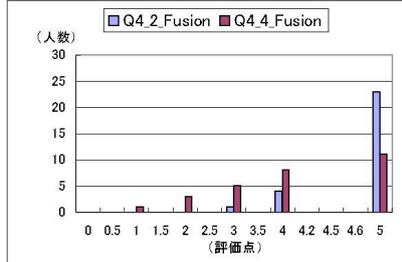
■ CO2発生量 と ■ 廃棄物と処理性



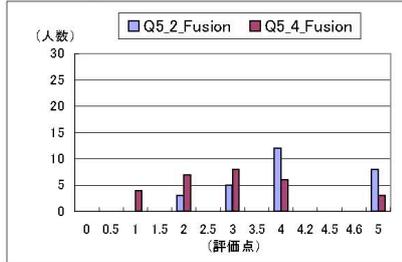
■ 建設単価 と ■ 発電単価



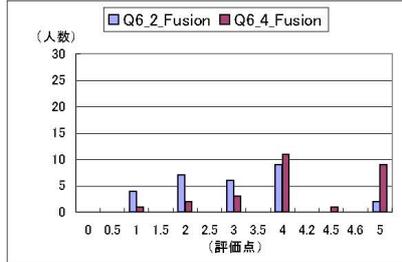
■ 自然現象に対する耐性 と ■ 社会的影響に対する耐性



■ 大型集中管理型への適正 と ■ 設置場所の自由度

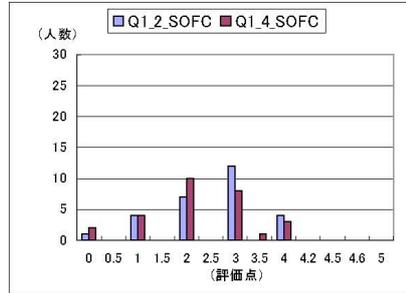


■ 事故時のハザードポテンシャル と ■ 大型破壊兵器への転用可能性

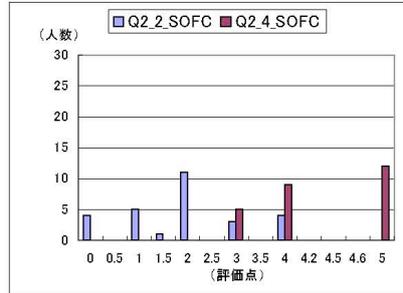


<SOFCトップコンバインドサイクル(天然ガス)>

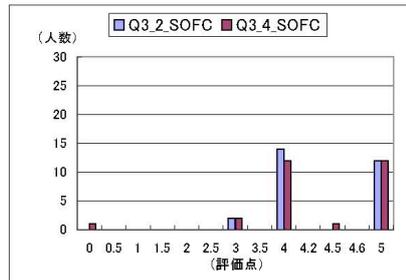
■ 資源量 と ■ 偏在性



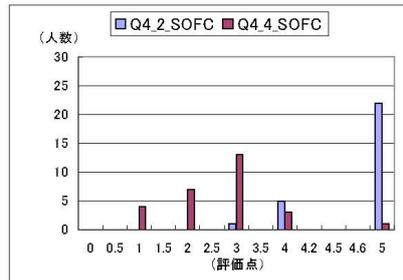
■ CO2発生量 と ■ 廃棄物と処理性



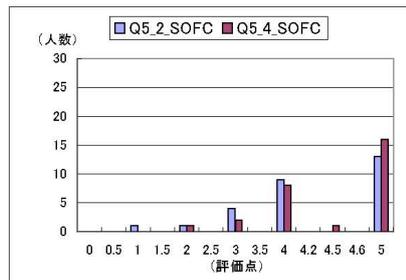
■ 建設単価 と ■ 発電単価



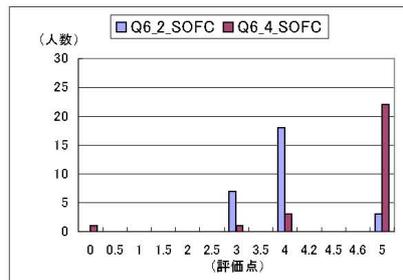
■ 自然現象に対する耐性 と ■ 社会的影響に対する耐性



■ 大型集中管理型への適正 と ■ 設置場所の自由度

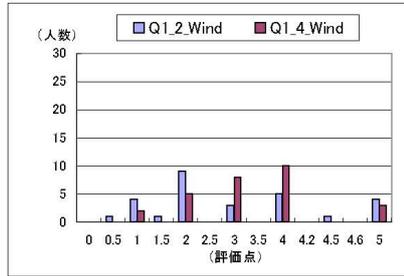


■ 事故時のハザードポテンシャル と ■ 大型破壊兵器への転用可能性

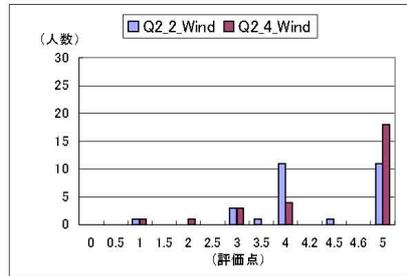


<風力発電(Wind)>

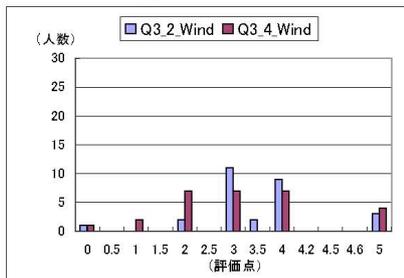
■ 資源量 と ■ 偏在性



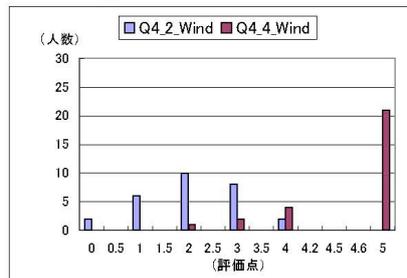
■ CO2発生量 と ■ 廃棄物と処理性



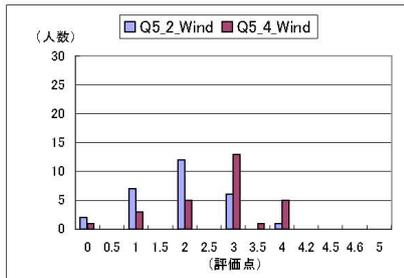
■ 建設単価 と ■ 発電単価



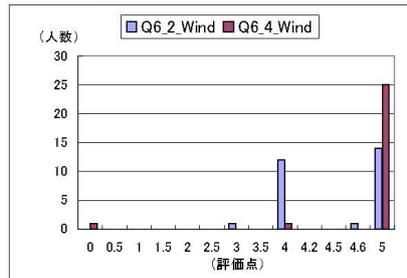
■ 自然現象に対する耐性 と ■ 社会的影響に対する耐性



■ 大型集中管理型への適正 と ■ 設置場所の自由度



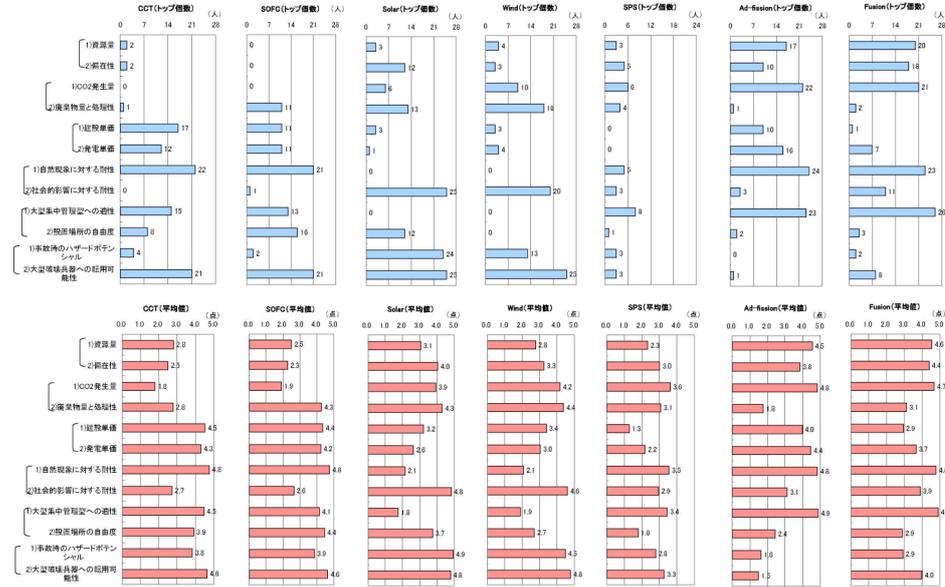
■ 事故時のハザードポテンシャル と ■ 大型破壊兵器への転用可能性



<エネルギー技術別の評価結果>

トップ指数：7種のエネルギー源(エネルギーシステム)の中で、最もすぐれている(トップにランクされる)と回答された数(複数回答可)
 平均値：トップのエネルギー源を「5点」とし、それを基準にしてその他のエネルギー源を「0～5点未満」で評価した際の全回答者の平均値(点)

評価軸	CCT		SOFC		Solar		Wind		SPS		Ad-fusion		Fusion		
	トップ指数	平均値	トップ指数	平均値	トップ指数	平均値	トップ指数	平均値	トップ指数	平均値	トップ指数	平均値	トップ指数	平均値	
1. エネルギー資源	1)資源量	2	2.8	0	2.5	3	3.1	4	2.8	3	2.3	17	4.5	20	4.6
	2)持続性	2	2.5	0	2.3	12	4.0	3	3.3	3	3.0	10	3.8	18	4.4
2. 環境影響	1)CO2発生量	0	1.8	0	1.8	6	3.9	10	4.2	6	3.6	22	4.8	21	4.7
	2)廃棄物量と処理性	1	2.8	11	4.3	13	4.3	18	4.4	4	3.1	1	1.8	2	3.1
3. 経済性	1)建設単価	17	4.5	11	4.4	3	3.2	3	3.4	0	1.3	10	4.0	1	2.9
	2)発電単価	12	4.3	11	4.2	1	2.6	4	3.0	0	2.2	16	4.4	7	3.7
4. 安定性	1)自然現象に対する耐性	22	4.8	21	4.8	0	2.1	0	2.1	5	3.5	24	4.8	23	4.8
	2)社会的影響に対する耐性	0	2.7	1	2.6	25	4.8	20	4.6	2	2.9	3	3.1	11	3.9
5. 運用性	1)大型集中管理型への適性	15	4.5	13	4.1	0	1.8	0	1.9	8	3.4	23	4.9	26	4.9
	2)分散場所の自由度	8	3.9	16	4.4	12	3.7	0	2.7	1	1.8	2	2.4	3	2.9
6. 安心感	1)事故時のハードボタンシミュレーション	4	3.2	2	3.0	24	4.9	13	4.5	3	2.8	0	1.6	2	2.9
	2)大型破壊兵器への応用可能性	21	4.6	21	4.6	25	4.8	25	4.8	3	3.3	1	1.5	8	4.0



未来のエネルギー技術の特徴の評価についてのアンケート

◆◆アンケート調査の目的◆◆

地球環境問題を解決し世界の持続的成長に必要なエネルギー源の開発を目指して 各種方法によるエネルギー源の研究が行われています 将来のエネルギー源の候補として研究開発が行われているものには長所と短所が存在します そのため、その長所を伸ばし短所を克服すると同時に、将来のエネルギー情勢や利用場所に関する適材適所 エネルギー源の役割分担 を考えて研究開発を行う事は 実際の導入に向けて重要でしょう 私どもは、各エネルギー技術の特徴を捕らえるための調査を行っております。

ご参考のために添付させていただいた各種エネルギー源のデータは まだ不完全ですが私どもが例として選択した各種未来エネルギー源間の特性を比較するために調べたデータです。このような解析を通して個々のエネルギー源の特徴を相対的に把握する事で 個々のエネルギー研究における適切な研究の方向性の判断材料を提示する事ができるのではないかと考えています。

今回のアンケートは、今後の調査の方向性を探るための第一歩として、エネルギーに関連する分野の専門家である皆様の、現時点での各エネルギー源に対するイメージをお伺いするものです あくまで特性比較であり エネルギー源間の優劣をつける事を目的としているものではありません また 本調査をもって結論とするものではなく 今後各種特性の客観評価手法などを検討していく足がかりとすることを目的としています

未来のエネルギーの価値有る開発のために、どうかアンケートへのご協力をおねがいします。 計結果は、皆様へフィードバックさせていただく予定です。

なお、参考データの中で、更新・修正すべきデータがありましたら、小川 ogawa@ppl.k.u-tokyo.ac.jp または岡野 okano-k@criepi.denken.or.jp まで連絡pけると幸いです

◆◆アンケートの内容と流れ◆◆

エネルギー技術にとって望ましいことは、以下の 種の条件だと考えられます。

●エネルギー資源	1)資源量 そのエネルギー、あるいはその燃料などがたくさんあること。 2)偏在性 そのエネルギー、あるいはその燃料などがどこにでもあること。
●環境影	1)CO 発生量 地球温暖化につながる二酸化炭素 CO の出る量が少ないこと。 2)廃棄物量と処理性 廃棄物が少ないか、処理しやすいこと。
●経済性	1)建設費 建設費が安いこと。 2)運転費 運転費が安いこと。
●安定性	1)自然現象に対する耐性 自然現象の影 を受けにくいこと。 2)社会的影 に対する耐性 社会的影 を受けにくいこと。
●運用性	1)大型 中管理型への適性 大量のエネルギーを一括管理して供給できること。 2)設置場所の自由度 設備の設置場所が自由に選べること。
●安心感	1)事故時のハザード 事故になっても大きな災害になることがほとんどないこと。 2)大量破壊兵器への転用可能性 大量破壊兵器などに転用されることが考えにくいこと。

1. エネルギー資源の評価軸

在来型エネルギー源を利用する石炭(CCT)と天然ガス(SOFC)を除けば、ここで取り上げた未来エネルギーシステムの供給可能 次エネルギー量は、いずれの技術も無尽蔵に近く、極端な差はないとみなせる。むしろ、年間供給可能量や資源偏在などで差が現れる。

<資源量>

- 1-1 **資源量** について、下記にあげるエネルギー源 エネルギーシステム の中で、どれが最もすぐれていると思いますか。トップにランクされると思うものすべてに「点」をつけてください。
- 1-2 上記の回答を基準にして、その他のエネルギー源を「点未満」で評価してください。なお、点数は小数 小数点以下第一位まで でも構いません。

エネルギー源	略称	<資源量>	
		Q1-1 (トップに5点、 複数可)	Q1-2 (左で5点のものを 基準に比較)
CO ₂ 回収付き先進石炭火力 Clean Coal Technology	CCT	点	点
SOFC トップコンバインドサイクル 天然ガス	SOFC	点	点
太陽光発	Solar	点	点
力発	Wind	点	点
宇宙太陽光発 衛星	SPS	点	点
先進核分裂炉 海水ウラン利用ワンスルー 軽水炉、FBR	Ad-fission	点	点
核融合炉 トカマク方式を基準とする	Fusion	点	点

<偏在性>

- 1-3 **偏在性** について、下記にあげるエネルギー源 エネルギーシステム の中で、どれが最もすぐれていると思いますか。トップにランクされると思うものすべてに「点」をつけてください。
- 1-4 上記の回答を基準にして、その他のエネルギー源を「点未満」で評価してください。なお、点数は小数 小数点以下第一位まで でも構いません。

エネルギー源	略称	<偏在性>	
		Q1-3 (トップに5点、 複数可)	Q1-4 (左で5点のものを 基準に比較)
CO ₂ 回収付き先進石炭火力			

CO ₂ 回収付き先進石炭火力 Clean Coal Technology	CCT	点	点
SOFC トップコンバインドサイクル 天然ガス	SOFC	点	点
太陽光発電	Solar	点	点
風力発電	Wind	点	点
宇宙太陽光発電 衛星	SPS	点	点
先進核分裂炉 海水ウラン利用ワンスルー 軽水炉、FBR	Ad-fission	点	点

2. 環境影響の評価軸

Q2-1,2 では CO₂ の放出量を比較している。その他公害物質はマイナーと思われる。放射性廃棄物の「潜在的危険性」によるマイナスは別の で評価されるべき。

Q2-3,4 は廃棄物の量と性質を比較している。ここでは技術上の処理の しさとして評価する。

<CO₂発生量>

- 2-1 CO₂発生量 について、下記にあげるエネルギー源 エネルギーシステムの中で、どれが最もすぐれていると思いますか。トップにランクされると思うものすべてに「点」をつけてください。
- 2-2 上記の回答を基準にして、その他のエネルギー源を「点未満」で評価してください。なお、点数は小数 小数点以下第一位まで でも構いません。

エネルギー源	略称	<CO ₂ 発生量>	
		Q2-1 (トップに5点、 複数可)	Q2-2 (左で5点のものを基準に比較)
CO ₂ 回収付き先進石炭火力 Clean Coal Technology	CCT	点	点
SOFC トップコンバインドサイクル 天然ガス	SOFC	点	点
太陽光発電	Solar	点	点
力発電	Wind	点	点
宇宙太陽光発電 衛星	SPS	点	点
先進核分裂炉 海水ウラン利用ワンスルー軽水炉、FBR	Ad-fission	点	点
核融合炉 トカマク方式を基準とする	Fusion	点	点
<p>Q2-1,2 では CO2 の放出量を比較している。その他公害物質はマイナーと思われる。放射性廃棄物の「潜在的危険性」によるマイナスは別の で評価されるべき。</p> <p>Q2-3,4 は廃棄物の量と性質を比較している。ここでは技術上の処理の しさとして評価する。</p>			

<廃棄物量と処理性>

2-3 廃棄物量と処理性 について、下記にあげるエネルギー源 エネルギーシステム の中で、どれが最もすぐれていると思いますか。トップにランクされ

と思うものすべてに「点」をつけてください。

2-4 上記の回答を基準にして、その他のエネルギー源を「点未満」で評価してください。なお、点数は小数 小数点以下第一位まで でも構いません。

エネルギー源	略称	＜廃棄物量と処理性＞	
		Q2-3 (トップに5点、 複数可)	Q2-4 (左で5点のものを 基準に比較)
CO ₂ 回収付き先進石炭火力 Clean Coal Technology	CCT	点	点
SOFC トップコンバインドサイクル 天然ガス	SOFC	点	点
太陽光発電	Solar	点	点
風力発電	Wind	点	点
宇宙太陽光発電 衛星	SPS	点	点
先進核分裂炉 海水ウラン利用ワンズスルー 軽水炉、FBR	Ad-fission	点	点
核融合炉 トカマク方式を基準とする	Fusion	点	点

3. 経済性の評価軸

どの評価軸の項目も、間接・直接にコストにリンクしうる点には注意を要する。たとえば、放射性廃棄物の廃棄コストは核分裂炉、核融合炉のコストには算入されているべきである。コストをかければさらにCO₂発生を抑えられるというケースなら、CO₂発生量の評価軸で評価した性能をだせるコストで経済性を評価する必要がある。すなわち、経済性は、他の評価軸で仮定した性能や特性を実現するときのコストで評価されるのが望ましい。

＜建設単価＞

3-1 建設単価 について、下記にあげるエネルギー源 エネルギーシステムの中で、どれが最もすぐれていると思いますか。トップにランクされると思うものすべてに「点」をつけてください。

3-2 上記の回答を基準にして、その他のエネルギー源を「点未満」で評価してください。なお、点数は小数 小数点以下第一位まで でも構いません。

エネルギー源	略称	＜建設単価＞	
		Q3-1 (トップに5点、 複数可)	Q3-2 (左で5点のものを 基準に比較)

CO ₂ 回収付き先進石炭火力 Clean Coal Technology	CCT	点	点
SOFC トップコンバインドサイクル 天然ガス	SOFC	点	点
太陽光発電	Solar	点	点
風力発電	Wind	点	点
宇宙太陽光発電 衛星	SPS	点	点
先進核分裂炉 海水ウラン利用ワンスルー軽水炉、FBR	Ad-fission	点	点
核融合炉 トカマク方式を基準とする	Fusion	点	点

<発電単価>

3-3 発電単価について、下記にあげるエネルギー源 エネルギーシステムの中で、どれが最もすぐれていると思いますか。トップにランクされると思うものすべてに「点」をつけてください。

3-4 上記の回答を基準にして、その他のエネルギー源を「点未満」で評価してください。なお、点数は小数 小数点以下第一位まで でも構いません。

エネルギー源	略称	<発電単価>	
		Q3-3 (トップに5点、複数可)	Q3-4 (左で5点のものを基準に比較)
CO ₂ 回収付き先進石炭火力 Clean Coal Technology	CCT	点	点
SOFC トップコンバインドサイクル 天然ガス	SOFC	点	点
太陽光発電	Solar	点	点
風力発電	Wind	点	点
宇宙太陽光発電 衛星	SPS	点	点
先進核分裂炉 海水ウラン利用ワンスルー軽水炉、FBR	Ad-fission	点	点
核融合炉 トカマク方式を基準とする	Fusion	点	点

4. 安定性の評価軸

Q4-1,2 の評価 目は、原理的な運転安定度。Q4-3,4 は新たに導入した考え方で、たとえば国際紛争による 害 燃料供給など に対する脆弱さ"vulnerability" を考えている。

< 自然現象に対する耐性 >

自然現象の影 とは、天候などによりエネルギー供給量が大きく変動するとか、連続的に長時間運転できないことなど

- 4-1 自然現象に対する耐性 について、下記にあげるエネルギー源 エネルギーシステム の中で、どれが最もすぐれていると思いますか。トップにランクされると思うものすべてに「 点」をつけてください。
- 4-2 上記の回答を基準にして、その他のエネルギー源を「 点未満」で評価してください。なお、点数は小数 小数点以下第一位まで でも構いません。

エネルギー源	略称	< 自然現象に対する耐性 >	
		Q4-1 (トップに5点、複数可)	Q4-2 (左で5点のものを基準に比較)
CO ₂ 回収付き先進石炭火力 Clean Coal Technology	CCT	点	点
SOFC トップコンバインドサイクル 天然ガス	SOFC	点	点
太陽光発	Solar	点	点
力発	Wind	点	点
宇宙太陽光発 衛星	SPS	点	点
先進核分裂炉 海水ウラン利用ワンスルー軽水炉、FBR	Ad-fission	点	点
核融合炉 トカマク方式を基準とする	Fusion	点	点

< 社会的影響に対する耐性 >

社会的影 とは、海外での紛争などで燃料の輸入が困 になる とか、国内外の世論の反対により運転できなくなることなど

- 4-3 社会的影 に対する耐性 について、下記にあげるエネルギー源 エネルギーシステム の中で、どれが最もすぐれていると思いますか。トップにランクされると思うものすべてに「 点」をつけてください。
- 4-4 上記の回答を基準にして、その他のエネルギー源を「 点未満」で評価してください。なお、点数は小数 小数点以下第一位まで でも構いません。

エネルギー源	略称	< 社会的影響に対する耐性 >	
		Q4-3 (トップに5点、複数可)	Q4-4 (左で5点のものを基準に比較)

CO ₂ 回収付き先進石炭火力 Clean Coal Technology	CCT	点	点
SOFC トップコンバインドサイクル 天然ガス	SOFC	点	点
太陽光発電	Solar	点	点
風力発電	Wind	点	点
宇宙太陽光発電 衛星	SPS	点	点
先進核分裂炉 海水ウラン利用ワンスルー軽水炉、FBR	Ad-fission	点	点
核融合炉 トカマク方式を基準とする	Fusion	点	点

5. 運用性の評価軸

ここでは運用性についての特性を考える。Q5-1,2では大型 集中管理型への適性を問う。Q5-3,4では、設置場所の自由度を問う。小型なものほど自由度が高いとも考えられるが、コストを無視して小型化できるか否かを問うわけではなく、コスト評価に用いたコストと大きく変わらないという条件で発電 規模の選択の自由度を評価することが望ましい。

<大型集中管理型への適性>

- 5-1 大型 集中管理型への適性 について、下記にあげるエネルギー源 エネルギーシステム の中で、どれが最もすぐれていると思いますか。トップにランクされると思うものすべてに「点」をつけてください。
- 5-2 上記の回答を基準にして、その他のエネルギー源を「点未満」で評価してください。なお、点数は小数 小数点以下第一位まで でも構いません。

エネルギー源	略称	<大型集中管理型への適性>	
		Q5-1 (トップに5点、 複数可)	Q5-2 (左で5点のものを 基準に比較)
CO ₂ 回収付き先進石炭火力 Clean Coal Technology	CCT	点	点
SOFC トップコンバインドサイクル 天然ガス	SOFC	点	点
太陽光発電	Solar	点	点
風力発電	Wind	点	点
宇宙太陽光発電 衛星	SPS	点	点
先進核分裂炉 海水ウラン利用ワンスルー軽水炉、FBR	Ad-fission	点	点
核融合炉 トカマク方式を基準とする	Fusion	点	点

<設置場所の自由度>

- 5-3 設置場所の自由度 について、下記にあげるエネルギー源 エネルギーシステム の中で、どれが最もすぐれていると思いますか。トップにランクされると思うものすべてに「点」をつけてください。
- 5-4 上記の回答を基準にして、その他のエネルギー源を「点未満」で評価してください。なお、点数は小数 小数点以下第一位まで でも構いません。

エネルギー源	略称	<設置場所の自由度>	
		Q5-3 (トップに5点、 複数可)	Q5-4 (左で5点のものを 基準に比較)
CO ₂ 回収付き先進石炭火力 Clean Coal Technology	CCT	点	点
SOFC トップコンバインドサイクル 天然ガス	SOFC	点	点
太陽光発 力発	Solar Wind	点	点
宇宙太陽光発 衛星	SPS	点	点
先進核分裂炉 海水ウラン利用ワンスルー軽 水炉、FBR	Ad-fission	点	点
核融合炉 トカマク方式を基準とする	Fusion	点	点

6. 安心感の評価軸

技術的安全はプラントの絶対要請 目であるので、相対評価はしない。ここでは安心感に関する比較を行う。
 Q6-1,2 では潜在的ポテンシャルハザードの観点で安心感を比較する。
 Q6-3,4 ではポテンシャルハザードの 低とは別に、悪意ある攻撃や大量破壊兵器等への転用に対する脆弱さを評価する。

<事故時のハザードポテンシャル>

- 6-1 事故時のハザードポテンシャル について、下記にあげるエネルギー源 エネルギーシステム の中で、どれが最もすぐれていると思いますか。トップにランクされると思うものすべてに「点」をつけてください。
- 6-2 上記の回答を基準にして、その他のエネルギー源を「点未満」で評価してください。なお、点数は小数 小数点以下第一位まで でも構いません。

エネルギー源	略称	<事故時のハザードポテンシャル>	
		Q6-1 (トップに5点、 複数可)	Q6-2 (左で5点のものを 基準に比較)

CO ₂ 回収付き先進石炭火力 Clean Coal Technology	CCT	点	点
SOFC トップコンバインドサイクル 天然ガス	SOFC	点	点
太陽光発電	Solar	点	点
力発電	Wind	点	点
宇宙太陽光発電 衛星	SPS	点	点
先進核分裂炉 海水ウラン利用ワンスルー 軽水炉、FBR	Ad-fission	点	点
核融合炉 トカマク方式を基準とする	Fusion	点	点

<大量破壊兵器への転用可能性>

6-3 大量破壊兵器への転用可能性 について、下記にあげるエネルギー源 エネルギーシステム の中で、どれが最もすぐれていると思いますか。トップにランクされると思うものすべてに「点」をつけてください。

6-4 上記の回答を基準にして、その他のエネルギー源を「点未満」で評価してください。なお、点数は小数 小数点以下第一位まで でも構いません。

エネルギー源	略称	<大量破壊兵器への転用可能性>	
		Q6-3 (トップに5点、 複数可)	Q6-4 (左で5点のものを 基準に比較)
CO ₂ 回収付き先進石炭火力 Clean Coal Technology	CCT	点	点
SOFC トップコンバインドサイクル 天然ガス	SOFC	点	点
太陽光発電	Solar	点	点
力発電	Wind	点	点
宇宙太陽光発電 衛星	SPS	点	点
先進核分裂炉 海水ウラン利用ワンスルー 軽水炉、FBR	Ad-fission	点	点
核融合炉 トカマク方式を基準とする	Fusion	点	点

アンケートは以上です。ご協力ありがとうございました。

下欄にもご記入をお願いいたします。

お名前

※ アンケート結果の公表の際にお名前を公表することはいたしません。

ご協力まことにありがとうございました。

参考資料 No.2 : 未来エネルギー源の特性比較基準データ

0 本データ作成の目的

現在、地球環境問題を解決し世界の持続的成長に必要なエネルギー源の開発を目指して、各種方法によるエネルギー源の研究が行われている。しかしながら、容易にいつでも利用可能で、環境への悪影響も無く、しかも経済性に富んだというエネルギー源は存在しない。従って将来のエネルギー源の候補として研究開発が行われているものには長所と短所が存在する。そのため、その長所を伸ばし短所を克服すると同時に、将来のエネルギー情勢や利用場所に関する適材適所(エネルギー源の役割分担)を考えて研究開発を行う事は、実際の導入に向けて非常に重要である。本データは、各種未来エネルギー源間の特性を比較する事により、個々のエネルギー源の特徴を相対的に把握する事で、個々のエネルギー研究における適切な研究の方向性の判断材料を提示する事にある。従って、あくまで特性比較であり、エネルギー源間の優劣をつける事を目的としているものではないことに注意して頂きたい。

なお更新・修正すべきデータについては小川(ogawa@ppl.k.u-tokyo.ac.jp)、または岡野(okano-k@criepi.denken.or.jp)まで連絡頂けると幸いです。

1 評価基準

1.1 未来エネルギー源の特性評価軸[1]

文献[1]等の報告を参考にすると未来エネルギー源の特性比較の重要項目として以下の6項目を挙げる。

1. 資源量、偏在性等に関するエネルギー資源の特性。
2. CO₂ ならびに他の公害物質の排出量や廃棄物量等に関する環境影響の特性。
3. 経済性に関する特性。
4. 自然現象や国際的事象等に対する安定性の特性。
5. 設置規模や設置場所の自由度に関する運用性の特性。
6. 事故や技術の悪用等に対する安心感の特性。

1.2 評価軸とそれぞれの評価項目

それぞれの評価軸に関して評価するにあたり、Table1にあるような評価項目を設定する。

Table 1: 評価軸と評価項目

評価軸	評価項目
エネルギー資源	1) 資源量: そのエネルギー、あるいはその燃料などがたくさんあること。 2) 偏在性: そのエネルギー、あるいはその燃料などがどこにでもあること。
環境影響	1) CO ₂ 発生量: 地球温暖化につながる二酸化炭素(CO ₂)の出る量が少ないこと。 2) 廃棄物量と処理性: 廃棄物が少ないか、処理しやすいこと。
経済性	1) 建設費: 建設費が安いこと。 2) 運転費: 運転費が安いこと。
安定性	1) 自然現象に対する耐性: 自然現象の影響を受けにくいこと。 2) 社会的影響に対する耐性: 社会的影響を受けにくいこと。
運用性	1) 大型集中管理型への適性: 大量のエネルギーを一括管理して供給できること。 2) 設置場所の自由度: 設備の設置場所が自由に選べること。
安心感	1) 事故時のハザード: 事故になっても大きな災害になることがほとんどないこと。

	と。 2) 大量破壊兵器への転用可能性: 大量破壊兵器などに転用されることが考えにくいこと。
--	---

1.3 評価対象とする未来エネルギーシステム候補

本調査で対象とする未来エネルギーシステム候補としてTable 2のようなものを考える。

Table 2: 未来エネルギーシステム候補

候補名	略称
1) CO ₂ 回収付き先進石炭火力 (Clean Coal Technology)	CCT
2) SOFCトッコンバインドサイクル	SOFC
3) 太陽光発電	Solar
4) 風力発電	Wind
5) 宇宙太陽光発電衛星	SPS
6) 先進核分裂炉 (海水ウラン利用ワンスルー軽水炉、FBR)	Ad-fission
7) 核融合炉 (トカマク方式を基準とする)	Fusion

2 評価軸における必要な評価事項とデータ

2.1 エネルギー資源のデータ

【総論】

在来型エネルギー源を利用する石炭と天然ガスを除けば、ここで取り上げた未来エネルギーシステムの供給可能1次エネルギー量は、いずれの技術も無尽蔵に近く、極端な差はないとみなせる。むしろ、年間供給可能量や資源偏在などで差が現れる。調査結果をTable 3にまとめる。

【CCT:石炭】

(a)資源量:

石炭の可採埋蔵量は 9.1×10^{11} (tons)[2]。

(b)偏在性:

約70%が米国(23%)、旧ロシア(24%)、中国(13%)、インド(10%)に偏在している[2]。

【SOFC:天然ガス】

(a)資源量:

Reserve of resource: 1.03×10^{11} (tons)。

燃料を、天然ガスとし、メタンハイドレートは含めないものとした。値は、文献[3]の144兆m³から、大気圧(0.1013MPa)、0°Cから換算した。

Available energy: 5.2 (ZJ)。メタン1mol当たり、803kJ(LHV)から、換算した。

(b)偏在性:

Resource availability: 燃料である天然ガスは、中東に34%、旧ソ連・東欧に39%と偏在している[3]。

【Solar】【Wind】

太陽光、風力エネルギーは一般に

- 太陽からの入射エネルギーなど根源に戻り評価すると、膨大な量となる傾向がある。同様に、砂漠設置の大規模太陽光発電、洋上風力等の将来技術を含めると、資源量のオーダが増す。
- 資源量評価にあたっては、実際的な制約を考慮するため、太陽光発電では住宅の屋根の何割かに設置というような仮定を設け、評価するのが通常。ただしこの場合、恣意的な評価とならざるを得ない点がある。
- 現実的な話(至近の話)でいえば、たとえば風力発電の場合、送配電線など電力インフラ、道路などの輸送インフラの環境が立地点を決めるキーファクターである。現実には風況の良し悪しよりこちらの方が支配的なことも少なくない。このような状況を考えると、砂漠設置の大規模太陽光発電、洋上風力等の将来技術の賦存量については、経済性のみならず、トータルインフラ整備のような観点から見た妥当性で、おのずから限界があるだろう。

Figure.1は太陽光や風力の地域差を示している。2倍程度の地域差は存在する。

また、日本の風力エネルギー資源量については以下のような評価結果がある。

- 陸上風力エネルギー[4]

シナリオ2: 地形・土地利用などによる制限中程度

シナリオ3: 地形・土地利用などによる制限厳しい

風車配置10D×10D(D: 風車直径)

シナリオ2: 発電規模920万kW、発電可能量8900百万kWh

シナリオ3: 発電規模140万kW、発電可能量1300百万kWh

風車配置10D×3D(D:風車直径)

シナリオ2:発電規模3500万kW、発電可能量34127百万kWh

シナリオ3:発電規模690万kW、発電可能量6537百万kWh

• 洋上風力エネルギー年間発電量評価例

離岸距離と水深による整理

沿岸3km以内 268TWh (1997長井、沖縄を除く)[5]

沿岸3km以内 765TWh (1999藤井、沖縄を除く)[6]

水深200m以内 708TWh (2002Henderson、水深50-200mの範囲は50%にカウント)[7]

• 洋上風力エネルギー年間発電量評価例その2(参考)

年間発電量

沿岸5km以内 626.5TWh

水深100m以浅 722.7TWh

水深200m以浅 1580.0TWh

水深500m以浅 3472.6TWh

衛星データ(QuickSCATSeaWinds)からの解析(鈴木2005)[8]

沿岸50km以内 1500.0TWh(鈴木2003)[9]

【SPS】

(a)資源量:

事実上無尽蔵ではあるが、静止軌道上への衛星打ち上げ可能数で利用可能な年間エネルギー量は制限されると考えられる。但し、現在打ち上げ数の制限数も目標数も日本では十分に検討されていないので、以下の2ケースを示す。

• ケース1 ~0.012 ZJ/year

現在の通信衛星を基準とすると静止軌道1度ごとに360基とすると360GW。

• ケース2 ~0.01 ZJ/year

NASA レファレンスシステムにおいては全米予想消費電力3億 kW を得るためには5GWを60基必要としている。(’98資料)[10]。

(b)偏在性:

宇宙の静止軌道からエネルギーを輸送するという観点からは、エネルギー源が軌道上に偏在するという見方もできる。ただし、地上へ伝送することまでシステムに含まれている。

【Ad-Fission】

(a)資源量:

鉱山からのウランの可採埋蔵量は限られており、もし軽水炉+ワンスルー(再処理なしで使用済み燃料は捨てる)で使えば2.5 ZJという天然ガスよりも少ないエネルギー量となる[11]。総埋蔵量でも8 ZJに過ぎない。しかし、燃料サイクルを確立し鉱山からのウランを高速増殖炉(FBR)で用いれば可採埋蔵量での供給可能一次エネルギーは220~280 ZJ [2,11]に増大し、超長期的なエネルギー資源となる。さらに海水中には 5.6×10^6 tonsものウランが存在し[12]、回収技術も開発中である[13,14,15]。これらを用いれば、Table3のように膨大なエネルギー量(実質的には無尽蔵)が供給できる。

(b)偏在性:

現状では濃縮技術の所有によって濃縮済ウラン燃料の供給国は限られるが、天然ウランの資源分布で見れば、鉱山ウランは、オーストラリア(19%)、カザフスタン(15%)、カナダ(8%)、南アフリカ(7%)、のほか、ブラジル、ニジェール、中国、ウクライナ、ウズベキスタン(各数%)など、比較的世界に分布している。海水ウランを利用するならば偏在性は非常に少ない。FBRによる増殖であれば、国内資源考えられる。

【Fusion】

(a)資源量:

核融合炉の燃料は、反応時には重水素Dと三重水素(=トリチウム)Tであるが、Tは天然にほとんどなく、核融合炉の中でリチウムに中性子を照射することで自己生産する。反応一回あたりのT製造率(Tritium breeding rate: TBR)は1以上にできるので、燃料増殖が可能である。重水素の元となる重水(D₂O)は、海水中の水に0.015%の割合でふくまれており、総量50兆トンと資源量としては無尽蔵とみなせる。資源制約はむしろリチウムで、鉱山からのリチウムは比較的限られており、それを核融合炉で利用した場合の一次エネルギー供給可能量は175 ZJと、石炭の7倍程度にすぎない。しかし、リチウムは海水中に0.17ppmという高い濃度で含まれており、海水からの回収が経済的に成立する資源のひとつとされ[16]、回収方法の開発も進んでいる[17]。現状で鉱山リチウムの2倍程度のコストとされ、ニーズさえあれば実用可能と考えられる。現在は核融合用ではなくリチウム電池のニーズに向けて開発中である。核融合で海水中のリチウムを利用できれば、供給可能エネルギーは、 5.1×10^6 ZJ という膨大なものとなり、核融合は無尽蔵なエネルギーとなる[11]。なお、将来、重水素同士の核融合(DD反応)が可能となれば、海水中の重水素資源から得られるエネルギーは 4.2×10^9 ZJという途方もないエネルギー量となる(もし人類の現在のエネルギー消費で考えることに意味があるなら100億年分に相当)。ただし、DD反応炉の技術的見通しはまだ明確でない。

(b)偏在性:

燃料Dおよび燃料の元になる物質(Li)は海水中に存在し、偏在性がない。

2.2 環境影響のデータ

【総論】

Table 7(a)ではCO₂の放出量を比較している。その他公害物質は石炭を除けばマイナーと思われる。放射性廃棄物の「潜在的危険性」によるマイナスは別の項で評価されるべき。Table 7(b)は廃棄物の量と性質を比較している。ここでは技術上の処理の難しさとして評価した結果を示す。

【CCT:石炭】

(a)CO₂発生量:

85(gC/kWh)[17]。

(b)廃棄物量と処理性:

石炭灰とフライアッシュは1 GWプラントの寿命(30年)あたり 2×10^7 tonsが出る。この廃棄物であるフライアッシュの約80%(2000年実績値)はセメント、コンクリート混和材、建材等に有効利用されている[18]。その一方で、フライアッシュによる潜在的リスクには注意が必要である。ただし、通常存在するリスクとの比較を行った場合、日本国内においては影響が小さいと評価されている(Table 4)[19]。

【SOFC:天然ガス】

(a) CO₂発生量:

メタン1モルあたりの完全燃焼による熱量は803kJ/mol(LHV)であるので、熱効率67%を仮定すると80gC/kWhとなる。

比較的新しい文献の[20]や[21]の中で、SOFC+GTの効率が65%(LHV基準)として、議論が展開されている。

(b)廃棄物量と処理性:

一般産業廃棄物として比較的簡単に廃棄処理できる。量も少ない。放射性廃棄物なし。

【Solar】

- (a) CO₂発生量:
14.5 ~ 34(gC/kWh)[18,22]。将来の目標値としては7(gC/kWh)とされている[22]。
- (b)廃棄物量と処理性:
放射性廃棄物等の観点からは問題が少ないと考えられる。

【Wind】

- (a) CO₂発生量:
8(gC/kWh)[22]。将来の目標値としては5.4(gC/kWh)とされている[22]。
180GWの風力発電設備で年間425TWh発電すると、次の削減効果があるという評価結果もある[23]。
CO₂ 215百万トン
SO₂ 261000トン
NO_x 333000トン
- (b)廃棄物量と処理性:
放射性廃棄物等の観点からは問題が少ないと考えられる。
環境影響としては以下の項目を考慮する必要がある[23]
(1) 景観問題
(2) 騒音問題
翼の風切音: 目標1MW風車300m離れて45dB
(3) 鳥
翼と鳥の衝突
(4) 建設工事

【SPS】

- (a)CO₂発生量:
文献[24]では、5.5 gC/kWh。
文献[25]では、12.9g-CO₂/kWh=3.5g-C/kWh である。Table5 に示す内訳から稼働率 95%で計算。
- (b)廃棄物量と処理性:
SPS は、運用終了後に軌道上に 2x10⁴ tons [26,27]の質量が残るのをなんらかの方法で処理する必要がある。現在の静止衛星は、運用終了後は GEO より少し遠方の軌道上に移動して放置されている。同様の処理が可能とするという考え方もありうるが、SPS は大規模なので検討が必要。
マイクロ波ビームによる電磁界が周辺環境に影響を与える可能性があるが、施設外は安全基準を満たすように設計される。

【Ad-Fission】

- (a)CO₂発生量:
CO₂排出量は微少である。
- (b)廃棄物量と処理性:
正常運用中の排出物による健康影響はきわめて小さい。高レベルを含む長寿命の放射性廃棄物が発生する。

【Fusion】

- (a) CO₂発生量[28]:
コンパクト動力炉 --- 3.2 gCO₂/kWh (0.8 gC/kWh)。
ITER 規模動力炉 --- 4.9 gCO₂/kWh (1.2 gC/kWh)。
CO₂発生量の内訳を Table6 に示す。
- (b)廃棄物量と処理性:

核融合炉の廃棄物量は、放射線レベルで分けなければ、全部で 2×10^4 tons前後である。超寿命・高レベル廃棄物を含まない点が核分裂と異なる。

コンパクト動力炉 --- 廃棄物 約 18,000トン
(うち低レベル放射性廃棄物 約 10,000トン*)
ITER 規模動力炉 --- 廃棄物 約 25,000トン
(うち低レベル放射性廃棄物 約 13,000トン*)

*)先進的廃棄物処理や再利用は行わない前提で評価(多めの評価)

2.3 経済性の評価軸

【総論】

どの評価軸の項目も、間接・直接にコストにリンクしうる点には注意を要する。たとえば、放射性廃棄物の廃棄コストは核分裂炉、核融合炉のコストには算入されているべきである。コストをかければさらにCO₂発生を抑えられるというケースなら、CO₂発生量の評価軸で評価した性能をだせるコストで経済性を評価する必要がある。すなわち、経済性は、他の評価軸で仮定した性能や特性を実現するときのコストで評価する。

【CCT:石炭】

(a)建設費

70万kW用発火力発電所のCO₂回収設備の試算として200億円～270億円[29]。発電設備と発電規模の関係は0.7乗則(もしきは0.6乗則)と言われており、発電プラントの建設費(Y円)、発電規模(X MW)とすると $Y = 840.45 \times X^{0.75}$ という解析例がある[30]。この値結果を用いると70万kW石炭火力本体建設費としては1150億円。

(b)運転費

CO₂回収、輸送、貯留に掛かる費用が参考文献[29]から約5円/kWhとなるので、この値が現行石炭火力発電コスト(6.5円/kWh:資源エネルギー庁ホームページ)に上乘せされる。海外の評価例としてはEPRIIによる67.7\$/MWhという評価例がある[31]。

【SOFC:天然ガス】

(a)建設費

SOFC による発電は、原理的に規模の制限は無いと考えられる。ただし、現状としては数 MW 級の発電規模が主流に検討されている。そのため、経済性を比較する際は発電規模の違いを考慮する必要がある。ここでは 1.5MW 級のコスト解析例と 400MW の海外での例を示す。

1.5MW の場合: 38×10^4 (yen/kW)

400MW の場合: 約 1400\$/kW[12] (1\$=120 円とすると 16.8×10^4 円/kW)

(b)運転費

建設費と同様に 1.5MW 級と 400MW 級の場合を示す。

1.5MW の場合: 15-18 (yen/kWh)

SOFC+GT+CO₂回収付、割引率 2%、寿命 40 年、稼働率 75%

400MW の場合: 約 43\$/MW[12] (1\$=120 円とすると 5.2 円/kWh)

COE に占める総資本費の割合: 55 %

【Solar】

【Wind】

異種の電源を横並び比較する際には、実現可能時期の問題以外にも、次のような点に

配慮が必要である。

- 太陽光発電、風力発電とも、過去 10 年ほどの間に著しいコスト低減を実現してきた。
- 太陽光発電、風力発電の場合、基本的には欲しい時に発電してくれる電源ではない。このため同じ発電単価(円/kWh)であっても、欲しい時に供給力として期待できるたとえば火力発電と比較する際には注意が必要である。太陽光発電や風力発電の発電単価を火力燃料費と比較する場合はこのためである。
- 一般に、国内と海外での経済性評価事例を比較すると前者の方がかなり高い場合が多いため、注意が必要である。たとえば風力発電についてはこのような状況が当てはまる。

Table 8 には、参考のため、海外のコスト解析も含めてある。また、洋上 (offshore)風力のコストも示した[32](ただし、これは現存、あるいは近く建設されるプロジェクトの値)。

(a) 海外の経済性評価例1

3MWウインドファーム: 5.9\$セント/kWh

51MWウインドファーム: 2.3\$セント/kWh

Table9にあるように1980年代の風車に比べ2000年の風車は、発電量120倍、発電コストは1/6となっていると報告されている[33]。

電力コストの低減要因として以下のような項目が考えられる

- (1) モニタリングと制御
- (2) 翼設計の改良
- (3) 風車タワーの高さの増加により、風車ハブ高さでの風速増加
- (4) ウインドファームにするとコスト低減

O&M(Operation and Maintenance)コストの合理化

(b) 海外での経済性評価例2

海外でのプラント評価例をTable10に示す[33]

(c) 経済性評価例3

○発電コスト

4~5€セント/kWh (良好な風)

6~8€セント/kWh (低風速)

○経済性の向上

- (1) 大型化と高さの増加

1990: 200kwから2000: 1.5MW

- (2) 翼の効率上昇

効率は風車の高さの増加効果も入れて、過去15年毎年2~3%上昇

- (3) 投資コスト低減

現在€900~1150/kW

○コスト構成

- (1) 翼

全コストの80%

- (2) その他コスト

基礎、電気設備、系統連携

土地、道路建設、コンサルタント料、資金調達

- (3) O&Mコスト

ライフタイムで20~30%

1.2€セント/kWh

年利7.5%

【SPS】

(a) 建設費

- 1.3×10^6 円/kW [25]
算出根拠: 宇宙セグメントのコスト 8,497 億円
レクテナ建設コスト 1,637 億円
総輸送コスト 2,795 億円
以上合計 12,929 億円
- 2.4×10^6 円/kW [10,11]

(b)発電単価

- 13.5 円/kWh
年間メンテナンスコスト 271 億円/year[25]、割引率 2%、O&M 費 2%、寿命 30 年、稼働率 95%の計算結果。
但し、ベース用電源として原子力との対抗が可能な 8 円台を目標として開発中。
- 23 円/kWh [26,27]

【Ad-Fission】

LWR-SW のコストの変化幅は海水からのウランのコストによる[13,14]。現状技術ベースでの予測は鉱山ウランの5~10倍とされる[15]。LWRの発電単価に占める天然ウランのコストは8%以下のため、仮に天然ウランのコストが10倍でも、発電単価はたかだか1.7倍になる程度である(Figure 2を参照)。

FBRの予測コストは、電力中央研究所による高経済性FBRの概念設計ARES[34]による。建設費は、軽水炉比で、1号機113%、2号機で69%とされる (Figure 3)。

【Fusion】

核融合炉のコストはいろいろな研究があるので、幅がある[1,35,36,37,38]。炉形式としては ASSTR-2 [37] や CREST[38]のようなトカマク型を基準として考えるものとした。[38]のCREST炉の各種コスト値は、寿命20年、割引率7%で計算されているので、30年、2%にて再計算した。

(a)建設費

5000~6000 億円。建設コストの評価例を Table 11 に示す。

(b)発電単価

7.3 円/kWh (CREST 炉、寿命 30 年、割引率 2%)

2.4 安定性の評価軸

【総論】

第一の評価項目は、原理的な運転安定度。第二は新たに導入した考え方で、たとえば国際紛争による障害(燃料供給など)に対する脆弱さ“vulnerability”を考えた。

【CCT:石炭】

- (a)自然現象に対する耐性
原理的運転安定度の制約はない。
- (b)社会的影響に対する耐性
化石燃料によるCCTは、日本においては脆弱といえる。ただし、これは資源国と非資源国で評価は逆転する項目である。

【SOFC:天然ガス】

- (a)自然現象に対する耐性
原理的運転安定度の制約はない。

- (b)社会的影響に対する耐性
化石燃料を用いるSOFCは、日本においては脆弱といえる。ただし、これは資源国と非資源国で評価は逆転する項目である。

【Solar】

- (a) 自然現象に対する耐性
太陽は原理的に不安定である。エネルギー貯蔵との併用で技術的な安定化は可能だが、その分、さらにコスト高となる。
- (b) 社会的影響に対する耐性
太陽光は国際的障害に関しては非常に頑強である。

【Wind】

- (a)自然現象に対する耐性
風力は原理的に不安定である。エネルギー貯蔵との併用で技術的な安定化は可能だが、その分、さらにコスト高となる。
- (b)社会的影響に対する耐性
風力は国際的障害に関しては非常に頑強である。

【SPS】

- (a)自然現象に対する耐性
1年中昼夜を問わず安定
但し、春分・秋分点近くで一日に1時間程度の食による停止がある[26]
- (b)社会的影響に対する耐性
宇宙開発は基本的に国際問題から切り離せないと理解される
1GWのマイクロ波ビームを地球上に照射することに関する社会的影響あり

【Ad-Fission】

- (a) 自然現象に対する耐性
核分裂炉に原理的運転安定度の制約はない。
- (b)社会的影響に対する耐性
燃料製造や再処理で国際運輸が伴う場合には、やや脆弱となる。

【Fusion】

- (a)自然現象に対する耐性
天候、日照などの影響は受けず、原理的運転安定度の制約はない。
- (b)社会的影響に対する耐性
安定：燃料を海水から得る。
トリチウム外部供給なしで起動できる可能性もある[39]（ただし、それには初期装荷トリチウムの自己生産が終了するまでの数ヶ月、数十万kWの駆動電力料金を払わねばならない。実用上はトリチウム価格のバックストップと理解されるべき。）

2.5 運用性の評価軸

【総論】

実現可能と思われる最小および最大プラント規模がTable 13に示してある。ここではコストを無視して小型化できるか否かを問うわけではなく、コスト評価に用いたコストと大きく変わらないという条件で発電規模の選択の自由度を調査している。

【CCT:石炭】

現行石炭火力と同様であろう。CO₂回収器のコストがある分、大規模プラントが有利にはなる。詳細はTable 12を参照。

【SOFC:天然ガス】

・単機最小プラント規模:100kW程度。

SOFC+GTの最小スケールは、個々の特性を反映して決まる。SOFCは面形の発電機であるため、生来的には、スケールの制約はない。しかし、小さすぎると熱損失が大きく、不利である。GTは、体積形の発電機であるので、スケールメリットがある。しかし、近年の μ GT技術開発から、小型化も可能である。このような事項を反映して、小さい規模のSOFC+GTプラントは、数100kW程度が多い[40]。

・最大プラント規模:生来的に制約なし。

但し、大規模事業用発電では数10MW程度がユニットとして構成される[41]。

【Solar】

【Wind】

太陽光や風力は、基本的にはスケールメリットはあまり効かない。

太陽光発電、風力発電ともに技術的(発電プラント本体の技術面だけとは限らない)にユニット容量(太陽光発電についてはユニット容量的なもの)の限界がある。大規模化はそのユニットを多数設置という形となるためこの面からはスケールメリットに乏しいが、風力発電については変電設備の集約化や管理の一元化などにはスケールメリットを期待できるため、ウインドファームでの導入が主流となっている。なお分散型電源としての太陽光発電、風力発電のサイズは、多くの場合、用地取得や系統連系の面から上限値が決まってしまうと考えられる。

【SPS】

設備が大きいSPSや核融合は、スケールメリットが大きく、規模が大きくなる。

(a)大型集中管理型への適性:1GW程度の大型のみ可能

(b)設置場所の自由度:マイクロ波ビームの安全基準により制限される

Rectenaの規模:1GWの設計例で、6km² [42]。

設置可能な場所に制約がでる。

比較参考:柏崎原発(7プラントで8.2GW)の敷地が4.2km² (0.5km²/GW)

【Ad-Fission】

数万kWの超小型炉も考えられるが、コストの観点からすると30万kW程度からと考えられる。原理的な下限はない。異常時の反応度特性から、単機出力は原理的な上限がある。

【Fusion】

設備が大きいSPSや核融合は、スケールメリットが大きく、規模が大きくなる。

・単機最小プラント規模:1GWe程度

・単機最大プラント規模:2GWe程度(参考、A-SSTRで1.7GWe)

2GWe以上の設計例がないが原理的な上限はないと考えられる。

2.6 安心感の評価軸

【総論】

技術的安全はプラントの絶対要請項目であるので、相対評価はしない。ここでは安心感に関する比較を行う。

Table 14(a)では潜在的ポテンシャルハザードの観点で安心感を比較してある。

一方、ポテンシャルハザードの高低とは別に、悪意ある攻撃や大量破壊兵器等への転用に対する脆弱さを評価しているのがTable 14(b)である。

【CCT:石炭】

(a)火力のハザードは一般化学プラントと同程度であろう。(十分低い)

(b)太陽光、風力、火力発電は、直接的な軍事転用は考えにくい。

【SOFC:天然ガス】

(a)火力のハザードは一般化学プラントと同程度であろう。(十分低い)

(b)火力発電は、直接的な軍事転用は考えにくい。

参考)カナダのパラードパワーシステムが、軍事潜水艦用のPEMFCシステムを開発[43]。

【Solar】

【Wind】

(a)太陽光・風力のハザードポテンシャルは低い。

ただし、風力発電については損壊事故、破損事故が相当数あることを考慮しなければならない。

(b)太陽光、風力は、直接的な軍事転用は考えにくい。

【SPS】

(a) 運転中のハザードポテンシャル

マイクロ波ビームの照射による、通信障害等の影響が考えられる。

(b)大量破壊兵器への転用可能性

マイクロ波ビームの転用による、通信妨害等への転用が考えられる。

SPSは、レクテナ近傍での電磁波強度に若干のハザード・ポテンシャルがあるがそれはきわめて小さい(レクテナ上のパワー密度は $23\text{mW}/\text{cm}^2$ [24])。

SPSは、1GWのビームを地上に照射できる装置と考えれば、不適切な利用のポテンシャルを周辺諸国から心配される可能性がある。(現実にそういう転用の可能性は考えにくい)。

【Ad-Fission】

プルトニウムの軍事への転用が本項目でもっとも低い評価をうける例。

【Fusion】

(a)運転中のハザードポテンシャル

燃料としてトリチウム(放射性)の利用、炉内機器の放射化により、高いハザードを内在する。炉内に存在する全放射性核種の潜在的放射線リスクは同規模の軽水炉の約1/1000。

(b)不適切な利用に対するセキュリティ

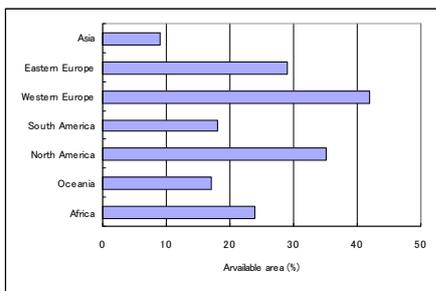
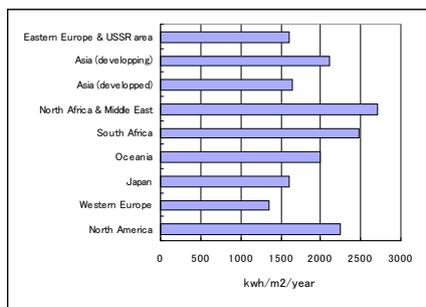
核融合の燃料は核燃料物質ではないが、核融合炉をプルトニウム製造に使えるという考えもある。(ただし、軍事転用を目指すなら核分裂炉で作る方が技術的には簡単)。

References

- [1] "Reports on Technical Feasibility of Fusion Energy and Extension of the Fusion Program and Basic Supporting Researches", by The Subcommittee of the Fusion Council for Fusion development Strategy, May 17, 2000, In Japanese (English translation is available from JAERI).
- [2] World Energy Council 2004 Survey of Energy Resources, Elsevier, 2004
- [3] 通商産業省(編)、エネルギー'98、力新潮社、p.45、1998
- [4] NEDO ホームページ
http://www.tech.nedo.go.jp/fukyo/index.html
- [5] Nagai, H., Ushiyama, I. and Ueno, Y., "Feasibility Study of Predicting Offshore Wind Resources and Power Generation in Japan", Proc. Wind Energy Symposium, 168-171, 1997. (in Japanese)
- [6] Fujii T., "An Estimation of the Potential of Offshore Wind Power in Japan by Satellite Data", Proc. the Japan Solar Energy Society/Japan Wind Energy Association Joint Conference, paper 115, 25-26, 1997.
- [7] A. R. Henderson, R. Leutz and T. Fujii, "Potential for Floating Offshore Wind Energy in Japanese Waters", Proc. 12th International Offshore and Polar Engineering Conference, 2002.
- [8] 木先生の参考文献
- [9] 木先生の参考文献
- [10] DOE and NASA report, "Satellite Power System Concept Development and Evaluation Program", DOE/ER-0023, Oct. 1978
- [11] K. Tomabechi, the report in 4th meeting of Special Committee for the ITER Project, in Japanese.
- [12] World Energy Assessment: Energy and the challenge of sustainability, United Nations Development Programme, (United Nations Pubns. 2001/01/12, ISBN: 9211261260)
http://www.undp.org/seed/eap/activities/wea/drafts-frame.html
- [13] T. Hiraoka, J. Atomic Energy Soc. Jpn., 36 (1994) pp.644.
- [14] T. Sugo, M. Tamada, T. Segichi, T. Shimizu, M. Uotani and R. Kashima, J. Atomic Energy Soc. Jpn., 43 (2001) pp.1011.
- [15] 菅生 信、他、日本原子力学会誌、Vol.43,(2001)、p.76-82
- [16] Driscoll et al. MIT report (1982)
- [17] 大井健太 海水リチウム採取技術の 発、日本海水学会誌、Vol.5, pp.285-292, 1997
- [18] Y. Uchiyama, 'Life Cycle Analysis of Power Generation Systems', CRIEPI Report Y94009, Central Research Institute of Electric Power Industry(CRIEPI), Tokyo, 1995, in Japanese.
- [19] 朝倉一、石炭火力発 所微 物質の吸入リスクの評価、力中央研究所 研究年報 2004年版、p.36
- [20] M. Koyama et al, Integrated model framework for the evaluation of an SOFC/GT system as a centralized power source, Int. J. Energy Res., Vol. 28, pp.13-30, 2004
- [21] P. Kuchonthara et. al, Energy recuperation in solid oxide fuel cell (SOFC) and gas turbine (GT) combined system, J. Power Source, Vol. 117, pp.7-13, 2003
- [22] 本藤祐樹、内山洋司、森泉由恵、力中央研究所 研究報告Y99009、2000
- [23] The European Wind Energy Association (EWEA) (http://www.ewea.org/) EWEA の factsheet Wind power economics Wind energy and the environmen
- [24] NEDO Research Report, NEDO-GET-0007, NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization), 2001-3, in Japanese.
- [25] 三菱総合研究所、平成 15 年度宇宙航空研究 発機構委託業務成果報告書「宇宙エネルギー利用システム総合研究」2004年3月
- [26] 三菱総合研究所、平成 5 年度新エネルギー・産業技術 発機構委託業務成果報告書「宇宙発 システムに する調査研究」(1994)
- [27] 茅 一監修 (社) 気学会エネルギー間 検討特別委員会編 「エネルギー技術の新パラダイム」
- [28] 時松宏治、RITE への原研委託研究報告書 2003
- [29] 国 プロジェクトとしての二酸化炭素 ・輸送 についての経済性調査 平成 16 年度調査報告書 (独)新エネルギー・産業技術総合 発機構 平成 16 年 6 月
- [30] NEDO 新エネルギー海外情報 2000-10、(独)新エネルギー・産業技術総合 発機構 平成 12 年 10 月、P153-p154
- [31] Updated Cost and Performance Estimates for Clean Coal Technologies – 2001, EPRI Report1004006, Nov. 2001
- [32] A. R. Henderson et al., 'Offshore Wind Energy-Review of the State-of Art', Proc. of the Twelfth (2002) Int. Offshore and Polar Eng. Conf, pp.494-498, Kitakyushu, Japan (2002)
- [33] American Wind Energy Association (http://www.awea.org/) AWEA Wind Energy Fact Sheets Economic and Cost of Wind Energy (Feb. 2005)
- [34] K. Yoshida, I. Kinoshita, N. Ueda, "An Inovative LMFBR Concept Eliminating Intermediate Heat Transport System", The 5th Int. Conf. Nuclear Engineering, ICON-5-2331, Nice, 1997
- [35] K. Okano, T. Yoshida, Y. Asaoka and K. Tomabechi, Fusion Eng. Design, 51-52 (2000) pp.1025-1032.
- [36] F. Najimabadi and ARIES team, Fusion Eng. Design 41 (1998) pp.365-370.
- [37] S. Nishio, K. Ushigusa, S. Ueda, et al. 'Conceptual Design of Advanced Steady-state Tokamak Reactor (A-SSTR2) - Compact and Safety Oriented Commercial Power Plant', in Proc. of 18th IAEA Fusion Energy Conference 'Fusion Energy 2000', FTP2/14, Sorrento, Italy 2000.
- [38] K. Okano, Y. Asaoka, T. Yoshida et al., Nuclear Fusion 40 (2000) 635.
- [39] Y. Asaoka, S. Konishi, S. Nishio, R. Hiwatari, K. Okano, T. Yoshida, K. Tomabechi, "Commissioning of a DT Fusion Reactor without External Supply of Tritium", in Proc of 18th IAEA Fusion Energy Conference 'Fusion Energy 2000', PDP/8, Sorrento,

Italy 2000.

- [40] James Larminie and Andrew Dicks, Fuel Cell Systems Expanded 2nd Edition, John Wiley & Sons Ltd., 2003
- [41] Klaus Hassmann, "SOFC Power Plants, the Siemens-Westinghouse Approach", Fuel Cell, Vol. 1, pp.78-84, 2001
- [42] 1 GW 用レクテナの積 6 km² は、レクテナ上での磁波の力密度 (23 mW/cm² [10]) を用いて、レクテナの気変換効率を70%程度として計算。
- [43] 1996 Ballard Annual Report, http://www.ballard.com/be_informed/about_ballard/company_info/annual_and_quarterly_reports
- [44] K. Tokimatsu, H. Hondo, Y. Ogawa et al., "Energy analysis and carbon dioxide emission of Tokamak fusion power reactors", Fusion Engineering and Design 48 (2000) 483-498.
- [45] 「ニューサンシャイン計画における太陽光発電技術の今後の進め方」平成9年3月 新エネルギー・産業技術 発機構(NEDO)



(a) Average power density of sunshine

(b) Area available for wind power plant

Figure 1: 太陽光・風力エネルギーの地域差。

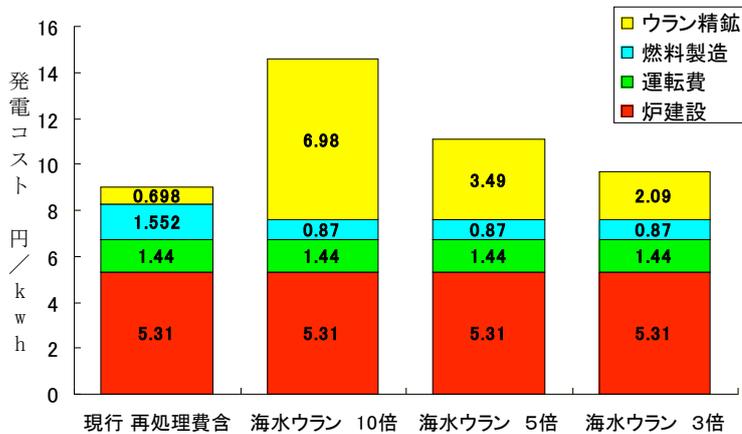


Figure 2: 海水ウラン利用軽水炉の発電単価 [13]

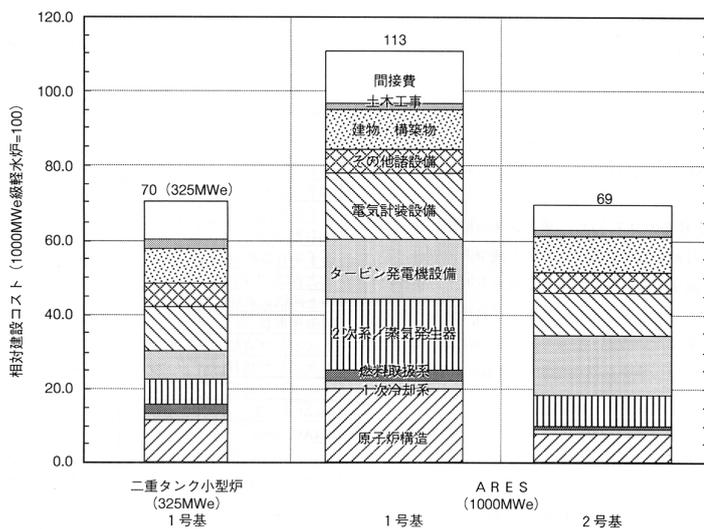


Figure 3: 高経済性型FBRの建設費解析 [34]

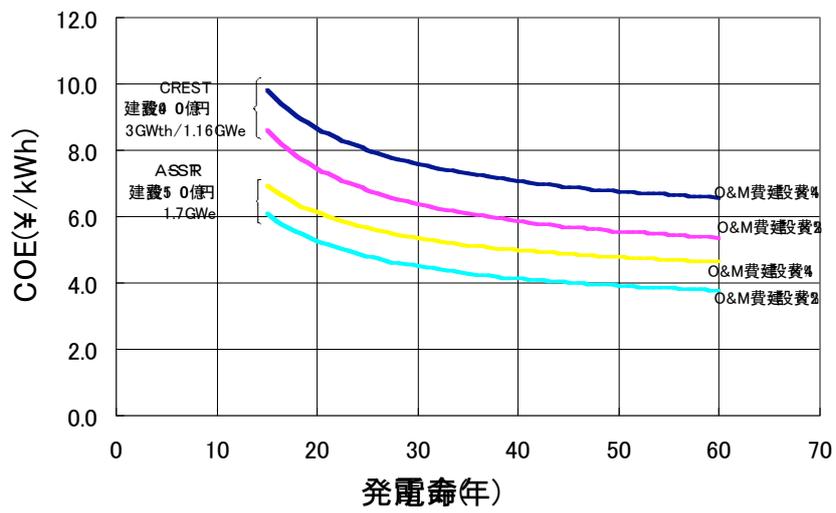


Figure 4: 割引率 (利率) = 2% の場合の核融合コストの例 (電中研資料)

Table3: エネルギー資源

(a) エネルギー資源の制約条件

Power Plant	Reserve of resource (tons)	Mining technology *	Available energy (ZJ)
Reference: Petroleum	1.5×10^{11} [11]	A	6.1 [11]
	1.48×10^{11} [2]		6.2 [2]
CCT	9.8×10^{11} [11]	A	26 [11]
	9.1×10^{11} [2]		24.4 [2]
SOFC	1.03×10^{11} [3]	A	5.2 [3]
	1.217×10^{11} [2]		6.3 [2]
Solar	inexhaustible	-	inexhaustible, but limited by ~ 0.8 ZJ/year [11]
Wind	inexhaustible	-	inexhaustible, but limited by ~ 0.72 ZJ/year [11]
SPS	inexhaustible	-	inexhaustible but limited by capacity on GEO (~ 0.012 ZJ/year) ~ 0.01 ZJ/year [10]
Ad-fission	U (mine): 5.8×10^6 [11]	A	280 (FBR) [11]
	5.6×10^6 [12]		2600 (LWR-SW once through) [11]#
	U(seawater): 4.7×10^9 [11]	C	2.3×10^5 (FBR) [11]
Fusion	D(seawater): 2.2×10^{13} [11]	A	4.2×10^7 ZJ (by DD fusion) [11]#
	Li(seawater): 2.4×10^{11} [11]	B	5.1×10^5 (by DT fusion) [11]#
	Li(mine): 8.3×10^6 [11]	A	175 (by DT fusion) [11]#

* A: industrial B: available on demand C: under development.

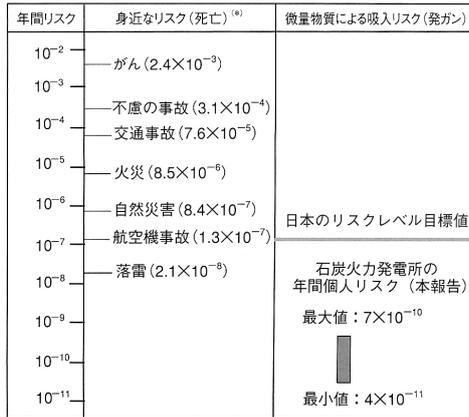
** 360 satellites at intervals of 1 degree on GEO =360GWe.

practically unlimited.

(b) エネルギー資源の偏在性

Power Plant	Resource availability
CCT	82% of world resource is in China, USA and former USSR area [11]
SOFC	34% of world resource is in the Middle East, 39% in Eastern Europe and former USSR area [3]
Solar	depend on country (See Fig 1)
Wind	depend on country (See Fig 1)
SPS	Available in outer space
Ad-fission	U (mine): Australia 19%, Kazakhstan 15%, Canada 8%, South Africa 7% [2] U: from seawater (widely available) Pu: self-breeding
Fusion	D & Li: from seawater (widely available) T: self-breeding

Table 4: 日本における石炭火力の個人リスクの定量評価例[19]



(*) 出典: 厚生労働省(2003)「人口動態統計」、警察庁(2003)「警察白書」

Table 5: SPS の CO₂ 発生量算出内訳[25]

宇宙セグメント製造時	83,160 t
宇宙セグメント打ち上げ時	959,527 t
レクテナ建設時	953,710 t (以上建設時合計 1,996,397 t)
宇宙セグメント運用時	31,281 t/年
レクテナ運用時	9,537 t/年 (以上運用 30 年合計 1,224,540t)

運用終了後の軌道上廃棄物の処分を含まず

Table 6: Fusion の CO₂ 発生量算出内訳

		コンパクト動力炉		ITER 規模動力炉	
		gC/kWh	比率	gC/kWh	比率
運 転	建設	2.5	77%	3.2	66%
	燃料製造	0.0	1%	0.0	1%
	運転	0.6	19%	1.5	31%
	廃棄物	0.0	1%	0.0	1%
廃炉		0.1	2%	0.1	1%
合計		3.2	100%	4.9	100%

Table 7: 環境影響評価項目

(a)CO2 発生量

Power Plant	Emission rate (gC/kwh)
CCT	85 [18] concern for disposal of collected CO ₂
SOFC	80 w/o CO ₂ control, plant efficiency=67%
Solar	~34 [18], present 14.5、 future ~7 [18]
Wind	present 8.0、 future 5.4 [18]
SPS	5.5 [24]
Ad-fission	5.7 [18], 7.7 [22]: once through LWR 2.7: once through, Centrifuge, LWR [22]
Fusion	6-12 [43] 3.2 ~ 4.9

(b)廃棄物の処理・処分特性

Power Plant	Description
CCT	huge (2×10^7 tons from 1 GW plant), very low radioactivity
SOFC	easily disposable and recycled, less waste. no radioactivity
Solar	easily disposable and recycled, no radioactivity
Wind	easily disposable and recycled, no radioactivity
SPS	2×10^4 tons on GEO* is difficult to dispose, possibly no radioactivity
Ad-fission	high level and long life radioactive waste is difficult to dispose
Fusion	large (2×10^4 tons) and radio- active waste, but neither high level nor long life

(*) Geosynchronous Earth Orbit

Table 8: 経済性

(a) 発電コスト

Power Plant	COE (Yen/kWh)
CCT	17.5 [18] (~1 GW)
SOFC	15-18 (yen/kWh) CO ₂ 回収付、2%、40年、稼働率 75% (unit module : several 10 MW) 参考 5.2 [12]
Solar	Solar: 89~152[18], ~25[44], 5 or 6~25cents/kWh (future potential) [12]
Wind	Wind: 44 [18] 1990 の実績で 10~14[45] 3~10 cents/kWh (future potential) [12] 4~16 ECUct/kWh (present offshore) [32]
SPS	13.5[25], 23 [26,27] (~1 GW)
Ad-fission	Advanced FBR: 7~10 [34] (~1 GW) LWR-SW:10~15 [13] (~1 GW)
Fusion	7.3 円/kWh 1.16GW with advanced design 30年、2%

(b) 建設コスト

Power Plant	Unit cost of construction for 1GWe plant (10 ⁴ Yen /kW)
CCT	28 [18] (~1 GW)
SOFC	35 (unit module : several 10 MW)
Solar	Solar: 80~130[18], ~31[44]
Wind	Wind: 50 [18]
SPS	240 [26,27] (~1 GW) 130 [30]
Ad-fission	32 : a value of 1GW LWR[18] 22 : (2nd plant, 1GW Advanced FBR)
Fusion	40~50 [34] 1GW-1.2GW

Table 9: 海外でのウインドファーム経済性評価例1
1981 2000

Rated Capacity	1981: 25 kW	2000: 1,650 kW
Rotor Diameter	10 meters	71 meters
Total Cost (\$000)	\$65	\$1,300
Cost per kW	\$2,600	\$790
Output, kWh/year	45,000	5.6 million

Table 10: 海外でのウインドファーム経済性評価例2

Table: The economics of a 50-MW wind farm at a wind site with average wind speed of 13-17 mph (class 4). Figures are indicative only.	
Project size:	50 MW
Capital cost:	\$65 million (\$1.3 million per MW)
Annual power production (assuming 35% capacity factor)	150 million kWh
Financing:	60% debt, 40% equity
Annual gross revenue:	\$6 million (assuming power purchase price of 4 cents per kWh)
Expenses:	<ul style="list-style-type: none"> -Debt: 60% (15 years at 9.5%) -Distribution 22% -Operation and maintenance (8%) -Land, property taxes, or rent 5% -Mgt fees, insurance 5%
Tax credit and depreciation:	<ul style="list-style-type: none"> -5-year depreciation on wind equipment -1.5 c/kWh credit adjusted for inflation during first ten years of operation

Table 11: 核融合炉の建設コスト評価例

炉名	想定時期	想定評価基数	総建設費	備考
SSTR	2030	1 基目	7200 億円	建設中の利子 820 億円含む
A-SSTR	2050	2,3 基目	5100 億円	核融合はここを目指すべきという提案
CREST	2050 以後	第二世代の設定	4900 億円	限界 β で設計した極限
ARIES-RS	2050	10 基目	3770M\$	米国の設計例

Table 12: エネルギー供給の安定性

(a) システム原理からみたプラントの安定性

Power Plant	Operational characteristics
CCT	stable
SOFC	stable
Solar	unstable
Wind	unstable
SPS	stable but short discontinuations (~1hour) due to eclipse by the earth
Ad-fission	stable
Fusion	stable

(b) 社会情勢に関する運転の脆弱性

Power Plant	Description
CCT	vulnerable to international affair, if imported fuel is used
SOFC	vulnerable to international affair
Solar	invulnerable
Wind	invulnerable
SPS	1GW beam emitter from space might be difficult to be accepted by neighbors
Ad-fission	less vulnerable, but if international transports are required for the fuel cycle, there is some vulnerability.
Fusion	invulnerable

Table 13: プラント規模(発電出力)に関する柔軟性

Power Plant	Minimum scale of plant	Maximum scale of a unit plant
CCT	~200 MW	(no inherent limit)
SOFC	~ 100 kW	(no inherent limit) (unit module : several 10 MW)
Solar	flexible	(no scale merit)
Wind	flexible	(no scale merit)
SPS	~500 MW	(no inherent limit?)
Ad-fission	~300 MW	~2 GW (no inherent limit, but from an aspect for safety design of the core)
Fusion	~1000 MW	2GW

Table 14: 安全性

(a) 運転中の潜在的危険性

Power Plant	Relative value of hazard potential
CCT	regarded as a low value similar to chemical plants
SOFC	regarded as a low value similar to chemical plants
Solar	regarded as 0
Wind	regarded as 0
SPS	regarded as 0 unknown effect by electro- magnetic wave is conceivable: 23mW/cm ² on Rectena[27]
Ad-fission (Reference)	1 (radioactive) (1GW LWR)
Fusion	~1/1000 (radioactive)

(b) 不適当な使用に対する安全性

Power Plant	Description
CCT	no insecurity
SOFC	no insecurity
Solar	no insecurity
Wind	no insecurity
SPS	few merit for military use* 1GW beam emitter from space might be used for improper purpose
Ad-fission	security problem due to Pu and U ₂₃₅ is essentially unavoidable
Fusion	few merit for military use*

あとがき

20 世紀後半に地球環境問題の重要性が指摘され、色々な立場から様々な検討が進められてきている。例えば、この地球環境問題に対する考え方として、この分野の先者でもある吉川弘之氏（元東京大学総長）は、ITER 計画懇談会報告書（平成 13 年 5 月 18 日、原子力委員会 ITER 計画懇談会）吉川弘之座談会の中で、以下のように述べている。

第一にそれは、基本的に、対処すべき問題が地球的な広がりを持つものであり、対処行動の効果は局所的なものに止まり得ず全地球的なものとなり、従って各国、各地域が自らの利益を目標として立案する政策や、企業が自由競争市場で利益追求する方策によっては解決できない内容を持っている。

第二に、進行する変化が地球全域にわたるだけでなく、進行は漸進的であり、しかもほとんど不可逆的であることである。従って、即効的、あるいは対処療法的な政策や手段によっては解決できない。

第三に、その内容が人間にとって未経験のものであり、現有の科学的知識のみでは解決できない場合が多いことが挙げられる。従って問題への対応は科学上の基礎研究を伴うことを不可欠とすることになる。

第四に、その問題は人間が豊かになるために行動したことが、何十年の蓄積を経て現出するという性格を持つことである。従って、その解決には新技術の開発によって一気に解決されるというものではなく、人間の行動の広範囲な軌道修正が必要であると考えなければならない。

ここで述べられているように、地球環境問題は人間にとって未経験のものであり、今までにない対応の仕方が求められよう。吉川氏は、「問題の理解の共有と、全地球的な協力による有効な手段の共同開発とその実施という、新しい協調が必要である」、と述べている。我々は、未来エネルギー技術開発の在り方に立ち返って考えた場合、従来の新技術開発のように研究者のみの価値判断で行うのでは不十分であり、研究者間の情報交換および理解の共有を図ると共に、ここでは特に社会一般との協調・対話を図りながら進めることが肝要であると考えた。

従ってここでは、数十年後を見据えた新技術開発に対する評価を、専門家のみならず社会に問うことから始すべく今回の調査研究を立案した。具体的には、社会が新エネルギー技術やエネルギー資源に対して、どのように評価し何を望んでいるか

を知るために、一般人を対象としたアンケート調査からスタートした。アンケートの方式や母団については、アンケート調査を専としてしている(株)東京エネルギーリサーチと共同で計画・立案した。アンケートの目や内容については、月に1回程度の度で係者の会合を催し議論した。なお今回のアンケート調査でしかったのは、現在在化している間ではなく数十年先の課に対して、一般の人達が現時点でどのように評価するか、という点を如何に正確に引き出せるか、という点であった。設問等も何度も練り直したり、アンケートを進める内に、設問内容を変更するなどの試行誤を繰り返している。例えば、

新的未来エネルギー技術に求められる評価事にするウエイト付け調査・分析では、「エネルギー資源、環境影、経済性、安定性、安全と安心」の5目を選定したが、その後の検討により、次の各種の新的未来エネルギー技術の評価では、「エネルギー資源、環境影、経済性、安定性、運用性、安心感」の6目に変更した。

従って、今回のアンケート結果を詳細に分析することはせず、今後の調査研究のベースとして供することにとどめることとした。ただしそれでも今回のアンケート結果には、エネルギー資源・エネルギー技術に対する社会の見方が的確に反映されていると思われ、エネルギー技術発に携わる研究者にとって大変有意義な内容を含んでいる結果であると言えよう。

今後は、これらの目ごとの効用を、より定的に求めるべくさらに調査・分析を進め、各種のエネルギー資源・エネルギー技術への適用を図ってゆく予定である。具体的には、本調査研究をベースに、力中央研究所において新的未来エネルギー技術評価研究委員会主査 小川一・東京大学が設置され、新しい技術評価手法の発が図られている。