

長計についてご意見を聴く会（第1回）

要 旨

内山 洋司（筑波大学教授）

将来のエネルギー需給の展望：エネルギー基本計画と今後の課題」

（1）「エネルギー基本計画」について

- ・エネルギー需要が伸びない中、電力自由化の流れの中で、どうやって民間の活力をつくりだすかが課題であり、思い切った政策転換が必要になる。
- ・エネルギー需要が伸びない中で、企業は様々な供給技術の開発に投資するか、エネルギー基本計画に掲げられている様々な技術に誰が投資するのかという問題があり、エネルギー基本計画を具体的に実施することに難しさがある。

（2）エネルギー需要

- ・現代は物質的に成熟化した社会であり、量を確保するよりも質が向上する発展の方向にある。エネルギー政策も従来の産業政策と異なる新しい時代に入ってきた。すなわち、国民を対象とするきめ細かいエネルギー政策が必要となってきた。
- ・地球環境問題をはじめとする環境意識の高まり、省資源、省エネルギーの流れから見て、欧米と同じように、日本のエネルギーも長期的に見て年率1%程度あるいはそれ以下の低成長が続くのではないか。
- ・電気は最も使いやすい、クリーンなエネルギーであることから、電気エネルギーの使用量が増えていくと考えられる。
- ・しかし、使っている人にとって電気は何も汚染していないという意識だが、それを作り出す際には環境問題、安全問題、あるいは信頼性の問題、様々な変換技術の問題がある。そこに社会の理解が欠けており、国として、環境政策を重視する必要がある。
- ・省エネルギー対策を進めるためには、省庁横断的な協力し合った対策が必要であり、地方自治体の協力も必要になる。

(3) 自由化と長期の技術開発

- ・自由化の流れの中で、民間企業に負担を強いるのは非常に難しい状況にある。長期的な技術開発を進めるための相当分の負担は国が持たなければならない。

(4) アジア地域のエネルギー問題

- ・中国を中心とするアジア地域は経済成長の最中にあり、社会基盤の整備や耐久消費財もますます普及していく状況。今後、アジアにおけるエネルギーの安定供給あるいは環境問題がどのように維持されるかということが非常に大きな課題になっている。将来的には、アジアは、エネルギー源として原子力に依存せざるを得ないことは間違いない。
- ・我が国はアジア地域の先進国として非常に優れた原子力技術を持っており、アジア地域におけるエネルギー安全保障を高める役割がある。

(5) 原子力について

- ・社会のエネルギー供給を支えているのは、原子力発電や火力発電といった大型発電技術。
- ・分散型技術はやはり補完的な技術にしかならない。分散型電源にも燃料を供給しなければならず、電力供給ネットワークによる供給システムというのはいろいろな面で有利。
- ・原子力については、寿命の延命と更新計画の早期着手が大事。制度を含めてその対策を検討していくことが求められる。
- ・原子力は燃料サイクルが整備されて初めて成り立つ、社会へのエネルギーを供給する役割がある技術。再処理技術の先送りは基本的に責任逃れ。我々はできるだけ安全性の高い再処理技術、あるいは環境負荷を低減していく再処理技術を開発し、それによって将来の子孫の不安を小さくしていく努力が必要。
- ・原子力の信頼性を確保するのにも半世紀がかかっている。燃料サイクルも同じような問題がある。信頼性を確保していくためには地道な努力が必要。
- ・当然のことながら、原子力を利用していくとなると将来はプルトニウムを利用せざるを得ない。そのための道を今ここで閉ざすことは大きな問題。我が国は六ヶ所核燃料サイクル施設におけるさまざまな基盤技術を更に高度化していくことが必要。

長計についてご意見を聴く会（第1回）

質疑応答編

内山 洋司（筑波大学教授）

将来のエネルギー需給の展望：エネルギー基本計画と今後の課題」

(1) なぜ、CDM (Clean Development Mechanism) に原子力が入らないのか、また、今後どうしていくべきか。

[回答]

CDMから原子力が除かれているのは、原子力が持続的成長可能な技術ではないと評価されているため。温暖化対策という面にあわせて持続的成長可能性から見れば原子力は間違いなく最も有力な技術。しかし、放射性廃棄物の問題や事故への不安、あるいは核不拡散といった別の要素のために評価されていない。今後、温暖化対策に焦点をあてた議論が進むことが望まれる。

(2) 比較的近い将来において、地球温暖化対策との関係で、新エネルギーをどのようにお考えか。

[回答]

新エネルギーをできるだけ導入して温暖化対策をしていくことは大事。しかし、安定した電気を供給するという観点からは信頼性も大事。そうすると、太陽光や風力は自然任せなので電気の供給信頼性では非常に劣っており、他の電源で支えなければならず、そうすると送電容量のせいぜい1割程度にとどまる。

さらに、再生可能エネルギーのポテンシャルについての評価がしっかりなされていない（単なる日射量や風がこれだけ吹いているなどの、お粗末な評価が多い）。理論面、技術面、経済性の視点からきちんと評価し、その技術の役割がどの程度あるかを示す必要がある。

(3) 将来のエネルギー需要について、どのくらい先から本当に伸びなくなる（ステイブルになる）とお考えか。

[回答]

具体的な展望をお答えするのは難しい。エネルギー需要が増える要因も考えられる

ので、あまり悲観的でないような気もする。

(4) 化石燃料の将来をどのようにお考えか。

[回答]

不確実性が大きな問題で確認埋蔵量でしか評価はできない。I I A S A (International Institute for Applied Systems Analysis: 国際応用システム分析研究所)の化石燃料統計データによれば、石油、石炭、天然ガスは、現在の可採埋蔵量の約5~6倍は利用できるとしているが、それをもとに推測すると23世紀中には完全に供給力不足になる。しかし、経済的に採掘できるところだけ採っていくとすると実際にある資源量よりかなり低い割合でしか採取できないと思う。そうすると、そんなに長い期間化石燃料を安定供給するのは無理。しかし、短期的(10年くらい先まで)には非常に楽観論がある。

このように不確実性のある長期の問題である資源問題、温暖化問題をどうやって、説得力のあるものにしていくかということは難しい。

特にアジア地域は化石燃料の資源面についてはかなり厳しい。さまざまな政策で何とか安定供給を確保できるようにしていければと思う。しかし、温暖化対策を理由に石炭を使うなというのはまったくおかしい。世界の全電源の約5割は石炭火力で成り立っている事実を忘れてはいけない。石炭は大事なエネルギー源の1つである。

(5) 産業の発展は量から質的な向上に移っているとのことだが、質的な向上をどういうふうに見ておられるか。

[回答]

ライフスタイルの問題でもある。エネルギー供給でいうと、質とは信頼性の確保、安全や環境に優れた技術であるということ。そのためにはエネルギー産業の発展の中で情報技術との連携が非常に大事。情報をこれまで作り上げたインフラの中に入れて、より高めることが大事。

(6) 電力自由化の流れの中で、国の責任をどう考えているのか。

[回答]

エネルギー需要が伸びていないことから供給もそんなに不安感がなく、そういう面でのリスクは小さくなっている(何とかなっている)。リスクはかなり先(これから)

の問題。具体的には信頼性、安定性、環境性の問題である。これらをすべて国でまかなうことはできないので、いかにこれらを産業化するかということである。原子力産業自らもこれらに対して産業をつくり出すような発展を模索すべきである。

(7) 原子力産業界の技術者の維持、育成のための仕組みについて、どうお考えか。

[回答]

昨年3月に社会経済生産性本部で行ったアンケート調査の結果をみると、今後の原子力産業の発展は「成長する」「現在と変わらない」「衰退する」の3つに分かれた。年齢別では高い年代の方が成長への期待が高いという結果。国と電力業界の責任・役割については「ある程度、国の役割を増すべき」という結果になった。また、安全性、信頼性、バックエンドで新しい産業を起こしてほしいというのが大半でしたが、それ以外の新しい技術開発については、それほど大きな産業発展は期待されていないといった状況。

そういう中で若い人も引きつけるという点では、既存の原子力発電所の高経年化に伴うさまざまな技術開発、情報技術を取り入れた事業の発展が中心となると思う。個人的には放射性廃棄物の産業化ができないかと思っている。再処理した後の放射性廃棄物を産業利用できるような技術の流れをつくれれば「ああいう廃棄物も利用できるのだ」と社会に認知され、原子力に対する見方も変わってくると個人的には思っているが、それを理解してもらうのはなかなか難しい状況にある。

(8) アジアに対する原子力技術の移転と産業界のかかわりについて、どうお考えか。

[回答]

アジアには特に原子力に関しては技術力がないことから、まずは日本の高い技術力を示し信頼性を各国に示していけば、アジアでも徐々に原子力の開発が進むと思う。しかし、中国などは独自技術で進めるということはあると思うので、すべてが日本の技術だけにならない可能性はあるが、それなりに技術の移転は期待できる。

(9) 将来、日本が労働力を輸入し、再び日本国内での生産が盛り返しエネルギー需要が伸びるようなことはまったく考えられないのか。

[回答]

労働の専門家ではないのですが、欧米では外国人労働者がかなりの面で産業を支え

ているということがある。日本もそういう傾向になってくると思うが、陸続きでないこともあって欧米に比べれば入る数に制限がある。しかし少子化が進むと外国人労働者が人口を支える一つの要素になり、ある程度の影響は受けると思う。正確な情報は人口問題の専門家に確認したほうが良いと思います。

(近藤委員長) 統計上の外国人労働者は約200万人。今後、我々の周りに現在の10～20倍の密度で外国人がいる社会を我々は希求しないと、今の人口は維持できないという量的な議論をしていただけるとありがたい。

(10) 原子力産業の今後の発展のシナリオとして、もっとも可能性が高い、あるいは我々が追求すべきシナリオというものをもちていたら教えていただきたい。

[回答]

社会の今の状況からすると、最も確率の高い流れは、かなりの期間、軽水炉でやっていくということだと思う。バックエンド対策も自由化を考えるとコスト負担がないようにすべてを先送りするという考えもあると思う。エネルギー政策というのは長期の視点を忘れてはならない。過去50年のエネルギーの流れをみても大きな流れで変化してきている。今の状態というのは5年や10年でがらっと変わる可能性がある。そのときに大きく政策を変更することは無駄が生じる。将来の社会で想定される変化に対して対応できるようにしておかなければならない。

今の時点から将来を考えると最も信頼性のある技術に力を注ぐ必要があるのではないかと、そういう視点で原子力技術の発展は考えて欲しい。再処理は六ヶ所を進めていく。軽水炉の先の技術開発としてももんじゅでナトリウムを使うという技術のノウハウをつかむ。

長計についてご意見を聴く会（第1回）

要 旨

山地 憲治（東京大学教授）

「地球温暖化対策における原子力の意義 定量的政策評価の事例として」

（1）「地球再生計画」のモデル解析

- ・地球温暖化に関し、CO₂濃度を安定化するため、今我々が知っている技術知識やコストの知識で最も効率的に成し遂げるためにはどのような技術が採用されるのか、それを地域的な条件を考慮しつつ世界全体としての最適な対応をモデルを用いて分析。

（2）大気中のCO₂濃度安定化への長期戦略

- ・CO₂濃度を550ppmに安定化することを設定する。気温は3 ± 1.5 ぐらい長期的には上がり、海面も上昇するが、この程度はやむを得ないとした。
- ・ウラン資源量は現在の可採埋蔵量の3倍と設定した。
- ・2100年のCO₂濃度を550ppmにすることを制約にして、最適経路の中でどのような技術がどのような役割を果たし使われるかをモデルで描く。
- ・CO₂濃度の制約をおかない場合、費用最小ということで選ぶと石炭が若干シェアを伸ばし化石燃料の時代が21世紀も続く。原子力は建設費が軽水炉で2000ドル/kWという設定をしているので、化石燃料との競争に負け、既存施設が運転終了した段階で撤退する事になる。
- ・550ppmという濃度制約をおくと、世界全体で省エネルギーを行いエネルギー需要が減る。その中で、石炭も大幅に減り石油も最終的に減るが、天然ガスは逆に若干伸び、化石燃料は半分以上を保つ。ただし、非化石が増え、21世紀の後半には、原子力はかなり大きく復活する。

（3）地球温暖化対策における原子力の役割

- ・ワンスルーしか使えないとするとウランが不足するので、2080年ごろにおよそ20億kWまで復活するが、最終的には減る。使用済燃料の再処理により回収ウランだけ使用すると20億kWを少し超えるところまでいくが、最終的には減る。

MOX燃料（プルサーマル）を使用すると30億KW弱までいくが、やはり減る。

- ・ 21世紀後半にはFBRを使って原子力の拡大を図ることが、温暖化対策として最適ということになる。
- ・ 日本の電力部門だけのモデル解析を行った場合、2050年以降、電力部門からのCO₂排出を1990年レベルの50%減となること、日本が使えるウラン量も50%減ること（原子力が世界で使われるようになるため）が、あらかじめわかっているということで最適化すると、原子力発電を増やし21世紀の終盤にはプルサーマルも行うことになる。ただし、この日本だけのモデルではFBRは入ってこない。要するにプルサーマルで対応できるということ。
- ・ 一方、CO₂排出規制の実施の不確実性を考慮した場合には、不確実性が解消するまでは使用済燃料の貯蔵を選んで政策の柔軟性を確保し、その後CO₂規制の有無にしたがって再処理あるいは直接処分が選択される。不確実性解消後、21世紀中にはCO₂排出規制は行われなくなった場合は、使用済燃料は基本的に直接処分となる。また、2050年以降は1990年レベルの50%減のCO₂排出規制が行われるとなった場合は、それまで使用済燃料を貯蔵しておきプルサーマルをやる時になって過去の貯蔵分も含めて再処理してプルサーマル用MOXをつくる。CO₂排出規制の実施が確実である場合でも不確実な場合でも、プルサーマルが開始されるまでは使用済燃料は全部貯蔵しておくことが最適な対応になる。

(4) 政策的含意

- ・ 地球温暖化対策という外部性を考慮しないと、現在の建設コストを前提とすれば、原子力には経済的競争力がない。しかし、CO₂濃度安定化するためには、21世紀後半に原子力の大幅な拡大が望まれる。
- ・ 21世紀中の天然ウラン資源の利用可能量が現在の可採埋蔵量の3倍程度だとすると、地球温暖化対策のため、21世紀後半にはFBRによるプルトニウムの本格利用が必要になる。
- ・ CO₂制限規制の不確実性を考慮すると、当面は使用済み燃料の中間貯蔵を選択し、将来に備えて再処理と使用済み燃料直接処分の両方の選択肢を確保することが必要である。

長計についてご意見を聴く会（第1回）

質疑応答編

山地 憲治（東京大学教授）

「地球温暖化対策における原子力の意義 定量的政策評価の事例として」

(1) 化石燃料の将来コスト予測は、どういう仮定、前提でつくられているのか。

[回答]

石油鉱業連盟やUSGSで行われている地域ごとの資源のカテゴリー分けを基に、そのカテゴリーごとに、だんだん資源のグレードが下がるごとに回収コストが上がっていくという前提で計算。すなわち地域ごとに累積生産に応じてだんだんコストが上がっていくというモデル化をしている。詳しくは、地球環境産業技術研究機構RITEの「地球再生計画の実施計画作成に関する調査事業」の報告書参照。

(2) 100年というのはかなり近い将来という気がするのですが、2100年以降というのは不確定要素（核融合がどうなるかとか）が出てきてほとんど解析できないものなのではないでしょうか。

[回答]

このモデルでも2100年以降についてもある程度考慮して計算しています（2100年を超える範囲を対象として最適化して2100年までの結果を示す）。しかし、割引率を考慮するとあまり先のことを考えなくても21世紀の最適解は大体わかると考えてよいと思う。

(3) このモデルの解析ではFBRの建設コストはいくらですか。

[回答]

FBRの建設コストは、3000ドル/kWです。

(4) 技術が必要になったとき、その技術が即座に生まれてくるものではないが、このモデルではそういったことをどのようにお考えなのか。

[回答]

技術の性能とコストの想定の問題だと思いますが、それには現在設定できる情報を

できる限り努力して集めて設定するということで対応しています。例えば今のコストが100年変わらず続くと仮定しているわけではなく、太陽電池の単価は下がっていく、天然ガス火力の発電効率はだんだん上がっていくなど現在見通せる技術進歩についてはできる限り反映したつもりです。また、こういう設定でやってみてくれと言われればそれで行います。そういうことがモデルの使い方と思っています。

- (5) CO₂濃度の安定化という地球温暖化対策の究極目標を考慮しないと原子力を使うという選択は出てこないのか。また、このモデル解析をおやりになって、政策的含意のうちどれが一番ありうるとお考えなのか。

[回答]

ここにまとめた政策的含意は、この解析から得られることを淡々とテクニカルにまとめたものです。ここでは温暖化対策という制約のもとで経済的に最適な技術の選択を求めると、温暖化対策を考えない場合には導入されなかった原子力が21世紀後半に大規模に導入されるという結果の解釈を述べたのです。温暖化という外部性を考慮しなくても、我が国のセキュリティという外部性を考慮すれば、市場競争力はないかもしれないが、原子力は採用すべしということになるかもしれない。

政策的含意の最後の点は、将来どうなるかわからない状態ならまず貯蔵しておいて、再処理も、処分もできるように将来に備えておくということ。当たり前のことのようにだが、現在は当たり前でない全量再処理するという政策をとっている。少なくとも不確実性対応としては全量再処理をかたくなに守るということはおかしいのではないかと考えている。

- (6) このモデルではウランが既知資源の3倍だとして、21世紀後半にFBRが相当入ってきますが、仮に2倍だとするとFBRの入ってくる時期は早まるのでしょうか。

[回答]

この想定はまだ計算していないので何とも申し上げられません。

- (7) FBRの急激な増加に対応するには相当早くから再処理をして準備をしないとイケないが、再処理を開始してプルトニウムを準備しておくまでの時間的なシナリオをどのようにお考えか。

[回答]

プルバランスだけでFBRの導入量を決めているというのではなく、新しい技術の導入速度制約をしている。すなわち10年前にゼロだったものが10年後に安いと
いって100%にはなり得ない。何年かかけて除除に入っていくという新技術の導
入率制約を想定している。なお、再処理を建設するコストを考えて、ある程度事前
に再処理を立ててプルトニウムをためておくのが最適という場合がないわけではあ
りませんが、このモデルの結果ではそうなっていません。

- (8) 再処理が必要となったとき、その日から可能になるわけではなくて、技術の積み重ねとい
うのが必要。技術というものは生き物であり、継続性があり、それによって改良もさ
れていくということをどういうふうに評価しておられるのか。

[回答]

この不確実性のモデルも不確実性が解消されても解消された時点で直ちに最適オブ
ションが取れるのではなく、10年待って10年後から取れることにしています。
つまり必要だとわかったら次の10年のステップからはそれが採用できるというこ
とを前提にしている。

- (9) セキュリティの問題になるが、たとえば中東紛争が何かで中東からの石油が途絶えたとい
う仮定をおくと、先ほどのFBRの問題などがどう変わるかなど、そういうエネルギー源
の確保を仮定して計算するとおもしろいのでは。

[回答]

そういう計算はやっていないわけではない。しかし現在この問題に関して行ってい
る解析のタイムスケールは1年で、それをさらに数ヶ月ごとに区分して対応をモデ
ル化している。FBRやプルサーマルを含めた原子力のセキュリティ価値を解析し
ようとすると、これよりずっと長い時間フレームを考えないと対応ができないと思
う。セキュリティ問題を定量的に解析するのは非常に難しい課題だと考えている。