

次世代火力発電の早期実現に向けた協議会（第3回会合）

平成27年7月6日

日 時：平成27年7月6日（月）10:00-12:00

場 所：経済産業省本館17階第1～第3共用会議室

議題

1. 燃料電池等の技術開発の現状紹介
2. 次世代火力発電に係る技術開発ロードマップ（中間とりまとめ案）について

議事内容

○覚道石炭課長

それでは、定刻になりましたので、ただいまから次世代火力発電の早期実現に向けた協議会（第3回会合）を開催させていただきます。

事務局を務めさせていただきます資源・燃料部石炭課長の覚道でございます。よろしくお願いたします。

委員の皆様、オブザーバーの皆様におかれましては、本日も大変御多忙のところ、御出席をいただきまして、まことにありがとうございます。

それでは、早速ですけれども、宝田座長に以後の議事進行をお願いしたいと思います。よろしくお願いたします。

○宝田座長

皆さん、おはようございます。座長を仰せつかっております群馬大学の宝田でございます。本日もどうぞよろしくお願したいと思います。

本協議会はこれまで2回行ってございまして、第1回目は火力発電の高効率化、そして第2回がCO₂回収、利用を行いました。皆様から本当に貴重な御意見、御指摘をいただきまして、今回、本日の第3回目は、これまで2回の御議論いただいた内容をもとに、次世代火力発電に係る技術開発ロードマップの中間取りまとめを中心に広く御議論いただくことにしております。大変重要な会議だと認識しておりますので、ぜひよろしくお願したいと思います。

それでは、お手元の議事次第に従いまして議事を進めてまいります。

まず、配布資料の確認をお願いしたいと思いますが、覚道課長、よろしくお願ひします。

○覚道石炭課長

恐縮でございますけれども、プレスの皆様への冒頭撮影はここまでとさせていただきます。引き続きの傍聴は可能でございますので、御着席をいただければと存じます。

それでは、最初に、お手元に配布をさせていただいております資料の確認をさせていただきます。

資料配布一覧でございますように、議事次第、委員名簿、座席表に続きまして、資料1としまして「MHP Sの燃料電池について」、資料2「次世代ガス化技術に関する取り組み状況」、これはN E D Oからの資料です。資料3としまして「次世代火力発電に係る技術開発ロードマップ（中間とりまとめ案）」、資料4としまして、金子委員から御提出をいただいております「次世代火力発電の早期実現に向けた提言」、参考資料1としまして、先般、委員の皆様へ御視察をいただきました「大崎クールジェン視察結果」について簡単にまとめましたもの、参考資料2としまして、「CO₂有効利用技術の特徴」ということで、これは前回の第2回で平井先生ほかから御指摘のあった点を整理させていただいたものでございます。過不足等ございましたら、事務局にお申し出をいただければと存じます。

○宝田座長

よろしいでしょうか。

それでは、早速議事に入りたいと思います。

議事の進め方でございますけれども、まず、参考資料の先日の大崎クールジェンの視察結果について報告をいただいて、続いて前回皆様から御指摘いただいたCO₂の有効利用技術の特徴について説明させていただきます。その後、議題1を説明させていただき、その後に議論し、次に議題2を説明させていただいて議論するという流れで進めたいと思いますので、よろしくお願ひいたします。

それでは、事務局から大崎クールジェン視察結果について御説明をお願いします。

○覚道石炭課長

それでは、参考資料1大崎クールジェン視察結果をごらんいただければと存じます。

広島県の大崎上島町でございます大崎クールジェンは、J-POWER、中国電力による酸素吹のIGCC、そこからのCO₂分離・回収と、最終的にはIGFCのプロジェクト

トの実証事業で、国も現時点で3分の1の補助をしている事業でございますけれども、第1回に大塚委員からもお話をいただいております。6月26日、先々週の金曜日にこの現地を委員の皆様にご覧いただきまして、御視察いただいたということでございます。

午後伺いまして、概要説明、その後、実際のサイトの視察、それから質疑応答と進められました。参加いただいた委員の皆様は、宝田座長を初め、ここに記載のある委員の皆様、事務局から私、NEDO、事務局をお手伝いいただいておりますエネ総工研、JCOTALの関係者が参加をしております。また、大崎クールジェン側からは、貝原社長以下の皆様にご対応いただいております。

実際の視察におきましては、プラントの事務棟等が入っている建屋からガス化炉の全景を視察し、その後、実際にコンバインドサイクルのタービンの周辺等について詳しく視察をさせていただいた状況でございました。

その後、質疑応答、ディスカッションで、委員の皆様からも活発に多数質問、あるいは御意見等をいただいておりますけれども、主なものを挙げさせていただきます。

まず、コンバインドサイクル部分のガスタービンについて、より高温なガスタービンを将来的に使っていく可能性についての御質問がございました。ガス化炉側でいろいろな課題があるのかという趣旨でございますけれども、それについては、一定程度の設備の取り替え等は必要になりますが、タービン側の高温化に伴うガス化炉側の技術的なハードルはそれほど高くないだろうといったお話がございました。

また、これは17万kW規模の実証でございますけれども、さらに商用化に当たって、もう一段大きな実証が必要になるのかという質問もございました。それについては、連続運転、効率、あるいは廃棄物の量等々の目標数値を踏まえて、17万kW規模での実証において、どれぐらい安定的にこうしたものをクリアできるのかを踏まえて判断をしていくことになるだろうというお話がございました。その他いろいろと活発な議論等が行われまして、有意義な視察になったのではないかと認識をしております。

簡単ですけれども、御報告は以上でございます。

○宝田座長

覚道課長、どうもありがとうございました。本当にサイトの見学も非常に詳しくさせていただいて、有意義な視察だったと思います。

それでは、引き続きCO₂有効利用技術の特徴について、事務局の検討のお手伝いをいただいておりますエネルギー総合工学研究所の酒井様から御説明をお願いしたいと思います。

す。よろしくお願いいたします。

○酒井エネルギー総合工学研究所主管研究員

御紹介いただきましたエネルギー総合工学研究所の酒井と申します。前回、第2回協議会の中で委員の先生方から、二酸化炭素の有効利用についてのコメントをいただきましたので、その補足資料としまして、参考資料2のデータを御用意させていただきましたので、簡単ですが、御説明させていただきます。

前回の金子先生からのコメントのとおり、100万kWの石炭火力発電所から排出される二酸化炭素の排出量につきましては、約530万t/年と見込まれます。

微細藻類につきましては、現在研究開発途上ですので、この数字はあくまでも参考としてごらんいただければと思いますが、例えば1haの培養面積の中で、表にあるような条件で藻体を培養させたとしますと、藻体内に固定される炭酸ガスの量は年間100t程度になります。微細藻類の場合は、この後、バイオ燃料を製造するという観点がございますので、これによる化石燃料の削減量については、この数値には加えておりませんが、こういったバイオ燃料の製造というところで、まだ伸びしろがあると御理解いただければいいと思います。

人工光合成につきましても、基礎研究がほとんどでございまして、最終版であるオレフィンの製造につきましては、定量的なデータがまだございませんが、前回、第2回の協議会の中で示されました年間500t程度の水素の製造量があるとする、プラスチックの中に固定される炭酸ガスの量は年間4600t程度になります。こちらも現在はまだ伸びしろがあるということで、この数字はあくまでも参考とさせていただきますと思います。

2ページには、二酸化炭素を利用して製品をつくるという市場について簡単にまとめさせていただきます。

国内の炭酸ガスの市場は、先般、金子先生がおっしゃられましたように、工業用利用、例えば溶接や飲料用で約70万tとドライアイス市場が約30万tございまして、合計年間100万tとなります。そちらを除いて、表の中では世界の市場を示させていただいていません。最大の炭酸ガス市場は、肥料用に主に使われる尿素でございまして、世界で年間約9000万t製造されておりますが、その中に固定されている炭酸ガスの量、いわゆる使用量は6500万t程度見込まれております。ただし、肥料を土壤に施肥した場合、6カ月程度たちますと大気に放散されますので、炭酸ガスのマスバランスについては注意が必要です。メタノール以下、ポリウレタンやポリカーボネートなど、まとめさせていただきます、概算で

数字を並べております。プラスチックの場合は炭酸ガスを固定させると数10年、あるいは1世紀以上固定されますので、繰り返しになりますが、マスバランスは注意したほうがいいということになります。

植物では、温室栽培などでも炭酸ガスが利用されますが、固定量は少量であることに注意が必要でございます。

非常に簡単ですが、以上で終わります。

○宝田座長

酒井様、ありがとうございました。ぜひ皆さん、参考にしていただきたいと思います。

それでは、本日の議題に入りたいと思います。

まず、議題1でございますが、燃料電池の取り組み状況について、三菱日立パワーシステムズの小林委員より御説明をお願いしたいと思います。

○小林委員

おはようございます。三菱日立パワーシステムズの小林です。我々の燃料電池の開発の状況について御説明、御紹介をさせていただきたいと思います。

まず、2ページ目でございます。これはエネ庁様の燃料電池推進室で既に策定をし、リリースをしていただいた燃料電池水素に関する戦略ロードマップを参考につけさせていただきました。この中で、2017年に業務・産業用の燃料電池システムを市場に投入することをうたっていただきまして、現在、我々はまさにこれに的を絞った開発・製品化を進めているところでございます。

3ページ目でございますが、これは我々の燃料電池セルスタックの写真及び模式図でございます。一般的には平板型のSOFCが世に出ておりますけれども、耐久性の面でまだ厳しいものがある中で、我々の円筒型をしたセルスタックは非常に高い耐久性を持っていると考えております。大きさのイメージは1.5mで3cm未満の鉄パイプのようなものでございます。このパイプの中を燃料が流れ、外を空気が流れ、このパイプの外側にミクロンオーダーの電解質と電極が積層されておりまして、ここで電気が発生します。各発電素子をインターコネクタで接続しておりますので、この接続の数だけ長手方向に直列に高電圧の電気が取り出せるというものでございます。

4ページ目でございます。SOFCは、酸素イオンが電解質中を移動することで電位が発生して、酸素の濃度差がドライビングフォースとなって発電ができるというもので、資料右側の図にありますように、常圧で駆動させるよりも加圧下で駆動させたほうが濃度差

が大きくなる分だけ出力、効率ともにアップしていくという性格を持った、いわゆる濃淡電池でございます。このような高い耐久性、そして加圧下でのすぐれた発電特性を考慮しまして、5ページにございますように、我々はSOFC単体よりも既存の発電システムの上にトッピングする形でのシステム化を進めております。5ページの図には一番左側に家庭用のエネファームに相当するもの、Pタイプ、Sタイプ、それぞれ効率がございまして、横軸が出力でございます。丸いプロットで示しておりますのが既存の発電システムの発電効率で、既存の熱サイクルは、当然ながら、大型化すればするほどスケールメリットが出てまいりまして効率が上がっていきます。これに対して燃料電池の場合にはスケールメリットがないので、小型の電池の数を幾ら並べても、どこかで既存のシステムに抜かれてしまうので、既存の発電システムの上に燃料電池をトッピングすることで、常に最高効率の発電システムを燃料電池で実現するという思想でございます。

6ページ目でございます。これまでに技術開発によって、高出力化、高耐久性を順次進めてきた電池の進化形で、今現在はこの15式をメインの製品と考えております。高出力、コンパクト設計が可能であり、この図の右下にございますように、耐久性が非常にすぐれています。1000時間当たり-0.04%という数字が書いてありますが、これは7000時間程度の使用では、まだ性能が上がっている状態で、劣化が見られないというものでございます。

7ページ目、このような高性能セルスタックを使いましてシステムの小型化を順次進めております。今、実証機として世の中にあるのはたった2台でございまして、1台が真ん中の千住（10式）と書いてあります。これは東京ガス様の千住サイトに置かせていただいているもので、九大（15式）と書いているものは、最近、九州大学様に納めさせていただいた最新ユニットで、セルの高出力化とともにシステムのコンパクト化を図ってきたものでございます。

次の8ページ、9ページは少し古新聞でございますけれども、東京ガス様の千住サイトに2013年、10式をシステムとして納入して、長期耐久性の検証を行ったものでございます。

ここでシステムの説明をさせていただきますと、左下にございますように、ピンク色で示しておりますマイクロガスタービンのコンプレッサの排気をSOFCに入れることでSOFCが高圧作動して、まずは発電をいたします。このSOFCの中で燃料が完全には使い切れない、あるいは高温の排熱が出るということで、それをマイクロガスタービンの

コンバスタに入れて完全燃焼させて、そこでまた電気を絞り取ることで発電効率を大幅に上げるというシステムでございます。

9 ページには、その際の2013年当時、4100時間という連続発電運転を行いましたときのデータを示してございますが、先ほどのセルスタックで7000時間劣化はなく、システムでも4000時間で劣化は一切ないというデータを得たものでございます。

次の10ページが今年初めから九州大学様にお納めして実証運転を開始したユニットでございます。九州大学伊都キャンパスの中に次世代燃料電池産学連携研究センター（NEXT-FC）がございまして、この中庭に、右側の現物の写真にある圧力容器、そしてケーシングがかぶった形の屋外仕様で、現在運転をしております。今、大体200kW、50数%の効率で1500時間程度運転を行い、適宜停止、再起動という検証を行いながら実証運転を進めている状況でございます。

11ページが、これらの実証機を踏まえて、国に対してお約束をさせていただいた17年度からどういう商品を世の中に出していくのかというあらあらの仕様、概要をまとめたものでございます。我々はマイクロガスタービンと組み合わせて最高効率のポイントでシステム化を行っておりますので、トヨタ自動車さんが持つておられるマイクロガスタービンは2機種ありますので、この2機種にそれぞれシステムの最適化を図りますと、総合出力で250kWのものと1.3MWのものができます。まずはこのハイブリッドシステムを17年度から、とりあえずベースロード運用を想定している市場にある程度の量を納めていければと考えております。

次に12ページから、将来の大規模発電GTFCと記載をさせていただいております。我々は以前からトリプルコンバインドという言葉を使っておりますけれども、この取り組みについて概要を御説明したいと思います。

GTFCの場合、トリプルで発電をするということで、先ほどのピンク色のガスタービンを真ん中に挟みまして、上流側にトッピングとしてのSOFCの第1段の発電、下流側にボトムングとしての蒸気タービンの第3段の発電、この1段、2段、3段のトリプルで電気を絞り切ることによって最高効率の発電システムを、将来、大規模火力において実現したいと考えております。

13ページにGTFCトリプルコンバインドサイクルの極めて簡単なエネルギーバランスを示してございます。SOFCの発電効率をもっと上げようと思えば上げられるのですが、とりあえず経済性も考えて、今、50%という設定でエネルギーバランスを考えて

おります。ガスタービンコンバインドも、今現在、J型のGTを使いますと60%を超えるプラント効率まで到達しておりますけれども、リプレースを考えたときに、1世代前の1200℃級が湾岸にもございますが、こういったものを想定して発電効率53%と置いております。これら2つの発電システムを発電所内に並列に置いただけでは平均値にしかならないわけですが、先ほどのトリプルコンバインドをシステムとして組んで、エネルギーのカスケード利用をすることで、50%と53%の全電力が63%の発電効率に一気にジャンプするというので、トリプルコンバインド、そしてSOFCを活用することの有効性が示されると思います。

14ページは、つけ足しのうたい文句でございますけれども、人類の熱効率向上に向けた歴史の中で、まさに第4の産業革命と言ってもいいぐらいのトリプルコンバインドサイクルによるもう1段の発電効率の向上が実現できればと考えております。

このトリプルコンバインドについては、15ページでございますように、既にエネ庁様の御指導、御支援をいただきまして、小型システムでの要素検証という形での事前準備を進めさせていただいております。もともと三菱重工と日立製作所が分かれていた時代に始まっていたのですが、いつの間にか2社の火力部門が一緒になってしまいまして、1社で共同研究を受託したという形になっておりますが、東北電力さんや九州大学さんの御支援、御指導もいただきながら、まずは小型でこのトリプルコンバインドのひな形をつくらうという要素の検証でございます。

16ページの試験成果は、既にNEDO様に詳しく御報告しておりますけれども、その中で一番わかりやすい性能の話だけ、ここに示してございます。常圧が赤い白丸、赤丸が1.5MPaG、15気圧に加圧したときのセルスタックの性能で、これは全く同じセルスタックを使った比較を示してございます。ここで縦方向に10%と書いております。これは電圧が10%アップしているということで、とりもなおさず効率が10%アップするというのでございます。それから、ある設計点に対して横軸の電流が2倍と表現してございますけれども、電流が2倍になるということは出力が2倍になることを示してございまして、セルスタックの数、燃料電池の大きさが半分で済むことを示してございます。それから、まだ一般的にはリリースされていない情報かも知れませんが、当然ながら長期耐久性を検証しております。15気圧でのデータですが、5000時間程度では全く劣化が見られません。従来、SOFCは加圧をすることで劣化がかなり進むのではないかと、という、いろいろな有識者の方の御懸念がございましたけれども、今回の成果によって、我々のセルスタック

に関しては、そのようなことがないとわかりました。これは微細構造を詳しく分析・解析した結果でも物質移動が進んでいないことが確認されておりまして、非常に画期的なデータのとれた国プロをやらせていただいております。

このほかにもガスタービンの燃焼器が燃料電池の排燃料を十分燃やせるかとか、ガスタービンのようにダイナミックな動きをするものに対して燃料電池の安全・安定した運転制御ができるかといった広範な検証、シミュレーションを駆使して、実証に向けた要素検証を進めている状況でございます。

17ページ、開発ロードマップで、まずは国にお約束をさせていただきました真ん中の中容量分散型電源として、トヨタマイクロガスタービンと組み合わせたシステムを一刻も早く商用化をして、来るべきオリンピック等に向けて出荷台数を増やしていきたいと今真っ先に考えております。また、その下側でございますようにセル・カートリッジの開発でも、NTK（日本特殊陶業）さんとのセルスタックの共同量産に向けた取り組みを進めているところです。これらを全てクリアした暁には、一番上の段でございます大容量事業用トリプルコンバインドが実証できる段階に進んでいけると考えております。

18ページ、19ページは今後の展開と課題をまとめさせていただきます。これは第1回でも申し上げましたけれども、何といたってもコストを下げるためにはセルスタックの量産化で設備投資も含めて考えていかなければいけないということで、ここにもぜひ御指導、御支援をいただければと思います。

最後に19ページは、課題ということではないのですけれども、IGCC、あるいはCCS、そして燃料電池、これらを単品で持っていて経済性を発揮するのがまだまだ厳しい状況の中で、1つ考えられるのは、油田に近い石炭火力がもしあれば、そこでIGCCによる高効率発電をし、CCSでCO₂を回収して、それを油田のEORに使うという経済メリットの得やすい絵も描きやすいのですけれども、なかなかそれも難しいということであれば、1つの考え方として、19ページにありますような再生エネルギー起源のクリーンな水素と火力から出てくる二酸化炭素のカーボン水素のキャリアとして使うことで現状のLNGのインフラを全てそのまま使えるような水素、CO₂の利用も考えられるのではないかと。これは当然、日本国内ではCO₂が発生しますので、海外の山元の火力発電でCO₂を回収する、あるいは高効率発電をすることによるCO₂クレジット、二国間取引のようなもので、我が国で発生する分のCO₂をキャンセルするという発想ですけれども、こういったものも考えられるのではないかと。ということで、我々はこの面的なSOFCの利

用にも大いに期待しているところでございます。

○宝田座長

小林委員、ありがとうございました。

それでは、続きまして、次世代ガス化技術等に関する取り組み状況について、NEDOの在間統括に御説明をお願いしたいと思います。

○在間NEDO環境部統括研究員

それでは、次世代ガス化技術に関する取り組み状況につきまして、NEDOから報告させていただきます。

1 ページでございます。第1回協議会でも概要を御説明させていただきましたが、これらの次世代ガス化技術に関する取り組みとしては、実用化するための技術開発として3つ考えております。1つは、IGCC、IGFCをベースに、さらなる高効率化を目指す技術ということで、この技術にNEDOは取り組んでおりますけれども、技術課題としては、水蒸気ガス化による冷ガス効率向上と技術革新による酸素製造動力の削減、乾式ガス精製による効率向上、この3つを組み合わせることで、さらなる効率向上が望めます。例えば1700℃級のガスタービンが実用化された場合、IGCCの送電効率は50%になります。本システムは、それにアタッチすることによって57%の送電効率を目指した技術開発になっております。

この技術は、ガス化炉に酸素とともに蒸気タービンに供給される水蒸気の一部、約3%を噴流床ガス化炉に供給することによりまして冷ガス効率の向上を図るものです。また、そのガスの精製としては乾式ガス精製を適用することで、発電効率を2～3ポイント以上向上させることが可能になると考えられております。

また、酸素製造方法としましては、従来、深冷分離法が主流でございますけれども、これらは動力の削減が課題になっております。近年、酸素のみを透過することのできる酸素分離膜の開発が進んできておりますけれども、これを水蒸気ガス化IGCCシステムに組み込むことで、酸素製造に必要な動力を低減し、送電端効率を向上させることが期待されます。これらの技術は、現在実用化が進められておりますIGCC、IGFCと対抗するものではなく、さらにそれらの効率のレベルを上げることに寄与できると考えておりまして、今後、早期に実用化させていきたいと考えております。

○宝田座長

在間統括、ありがとうございました。

それでは、ただいまの2件の御説明について御意見等のある方は、挙手か、あるいは名札を立てていただければ、私のほうから指名させていただきますので、お願いいたします。

○平井委員

三菱日立さんのことについてお聞きしたいのですけれども、そういう燃料電池を組み合わせることによって効率が上がるということは大変結構な話だと思うのですけれども、その分、初期投資が増えることになりますよね。そういったことを踏まえたときに、燃料電池システムを火力発電に組み合わせることをした場合に、その初期投資が、例えば通常のIGCCに比べてどれぐらい増えて、それを回収するのに何年ぐらいかかるかといったコスト的な試算は何かされているのでしょうか。

○小林委員

ありがとうございます。それは非常に重要な問題でございまして、1つは、13ページの図において、まず既存のガスタービンコンバインドは発電原価の非常に下がってきている、ある意味成熟した製品となってきました。これに対してSOFCの部分は、まだまだこれから量産化を含めてコストダウンを進めていかなければいけない部分です。今現在、GTFCとすることでGTCCも含めて全体の総合効率がアップしますので、トータルの燃料代の削減分によってそれを回収できるレベルとして、キロワット当り30万円程度をSOFCの建設単価と想定してございまして、ここに向けた技術開発、量産化の検討が課題と考えています。

○住田資源・燃料部長

今の燃料電池のことで1点教えていただきたいのですが、6ページだと燃料としては水素を使っているという形になると思います。そうだとすると、水素は水素の形でどこから持ってくるというイメージなのかということと、今言われたように火力と組み合わせるのがいいのか、あるいは水素の場合は持ち運びができるので、むしろ地産地消型というか分散型のほうが効率がいいのか。さらに言うと、本当の分散型でやると送電ロスがなくなるところまで考えると、その場合、どんなことが言えるのかについて教えていただけますでしょうか。

○小林委員

最初の御質問は、6ページで水素と書いておりますが、これはわかりやすくするために、酸素と水素で H_2O 、水蒸気ができるという単純な絵にしてございますけれども、基

本的には3ページに戻っていただいて、これはSOFCの特性として、酸素イオンが動くということでございますので、燃料側は酸素を食ってしまうものであれば何でもよいです。現在ここに描いてある絵は水素と一酸化炭素が入っておりますが、これは、もともとは都市ガス、天然ガス、メタンを想定しております、この燃料電池の中で内部改質によってメタンが水素と一酸化炭素に改質した上で、酸素イオンを食って発電をする。当然これは水素単独でも発電はできますし、メタンでもできますし、それから、IGCCの石炭のガス化ガスのような水素、一酸化炭素主成分のガスでも発電ができるということで、燃料の多様性が非常に大きいというのが大きな特徴でございます。その上で、当然、メタン、天然ガス、LNGを使えば大規模火力での発電もできますし、都市ガスを使えば、今おっしゃられた分散電源としての活用も図れる。そのほか大都市から発生する下水汚泥から出てきます消火ガスのようなものも全て燃料として発電ができるということで、いろいろな使い方が考えられると思います。

何が一番いいのか。集中電源がいいのか、分散電源がいいのかという最後の御質問に関しては、これはまさにエネルギーミックスで、燃料のミックスだけではなくて、それぞれ容量、発電所、発電システムとしての大きさ、そしてそれを海岸部に置くのか、内陸部に置くのか、町の中に置くのか、そういったいろんな意味でのベストミックスを考えていくのが経済的にも一番よいのではないかと考えております。

○住田資源・燃料部長

送電ロスという意味では、それほど大きなものではないというか、集中型のほうが送電ロスを補って余りあるぐらいあるという感じですか。

○小林委員

確かに先ほど出ましたスケールメリットのある既存の発電システムの上に載せる場合、大型化すればするほど効率が上がります。国内は狭い国土の中に網の目のように発電所とグリッドが分布していますので、送電ロスは非常に少ないわけですがけれども、海外に比べて比較的少ない送電ロスによって十分メリットが出るほど大型の発電所に適用した場合の効率アップは大きいと考えます。ただ、分散電源の場合には熱の利用というもう1つの面がございますので、そこまで考えると、先ほど申し上げたベストミックスという考え方が一番いいのではないかと考えております。

○瀬戸山委員

これはハイブリッドと言った場合には、最初から一体型でつくるのですか。それとも、

一番先にガスタービンがあって、その償却が終わったところにアタッチメントとしてこういうものをつけるという思想はないですか。価格を下げるという意味でいうと、そういうやり方があるのではないかと思うのですが、そういう設計にはなっていないのですか。

○小林委員

まさにおっしゃるとおり、例えば既設のガスタービンの燃焼器を取り替えて燃料電池とトッピングさせるという効率向上のための改造工事を後からするというのは、1つ有効な考え方だと思います。

○藤岡委員

効率は全体のシステム次第というお話で、現状は50%ということで設計されていますけど、燃料電池の研究で、これ以上理論的な効率はもう上げることは難しいというぐらいに技術は飽和していると考えておられるのですか。

○小林委員

燃料電池の理論的な効率の計算値は80%を超えているわけですがけれども、それを実際の工業的なシステムに仕上げたときに、60%程度が上限ではないかというのが、今恐らく技術レベルとしての1つの上限だと思います。それに対して今は、50%程度の設定でシステムを計画しておりますけれども、これはひとえにコストとのバスターでもあるので、コストダウンを図りながら燃料電池の効率を55%、60%と上げていくことが、さらに総合効率を上げていく重要な取り組みだと思っております、決して燃料電池の効率をもうこれ以上上げなくていいという考え方をしているわけではございません。

○小野崎委員

今の効率に関連して、13ページで1200℃のガスタービンを使われて出された数字とおっしゃいましたけれども、これをさらに例えば1500℃とか温度を上げた場合には、燃料の比率は、今、55対45で入れている後段のほうが上がってきて、結果としては最適なところではないというイメージで1200℃というのが決まっているのでしょうか。

○小林委員

おっしゃるとおり、高効率のガスタービン入りロガス温度の高いGTCCと組み合わせると、総合効率ではさらに上がってまいります。1600℃級という既に世の中にある最高効率のGTCCであれば、65%をはるかに超えていきますし、現在開発の進んでいる1700℃級と組み合わせれば、当然70%を超える効率になりますけれども、GTの高温化がだんだん進みますと、燃料の投入量の比率が右側へどんどんシフトしていくことになっ

て、総合的な燃料電池のメリットが出にくい方向に行くことは確かです。ですから、燃料電池を載せたことによるメリットが大きいものを選ぶということであれば、図にありますような1200℃、1350℃というレベルを狙うことになるでしょうし、最終的に燃料電池のコストが十分に下がった後、G T C Cを含めた最高効率を狙うということであれば、1600℃、1700℃という高効率のG T C Cに組み合わせるほうが良いという選択になるかと思えます。この辺はガスタービンメーカーとしても、高温部品のメンテナンスや取り替えの費用まで考えたときに、本当はどちらの経済性が高いのかというのは、これからの議論でございますけれども、1つは比較的温度の低い、効率の低いG T C Cのレトロフィットのような発想と、最先端の最高効率のG T C Cと組み合わせて最高効率を狙うようなG T F Cという発想と、両方存在すると思えます。

○酒井委員

事業者という観点からの御質問ですけれども、この技術自体はベースロードで最高の効率を達成するように思われるのですけれども、今後、再生可能エネルギーも含めたベストミックスを考えてまいりますと、恐らく出力変動に対応する技術も必要になると思えます。この技術の性質として、そういう出力変動に耐え得るものなのか、あるいは出力変動してもそんなに効率が落ちないものなのか、その辺の基本的なところを教えていただければと思います。

○小林委員

火力発電所で使われるような規模の大きさでの試験は当然できておりませんので、小さなハイブリッドシステムでの実績のお話しか今はできませんけれども、今世の中にあります火力発電所と同じ5%/分程度の負荷変化には十分耐え得る負荷追従性を持っております。それから、さらに燃料電池自体は発電部分の温度さえ動かさなければ出力をかなり俊敏に、いわゆるステップ変化で700%、800%/分という負荷変化にも対応できるものでございます。したがって、現在、製品としての完成度はまだまだ未熟ということで、いかなる負荷変動にも耐え得るようなものに仕上がっていないのは事実ですけれども、これからの使い方に対して、この燃料電池を入れたG T F Cが得意な負荷パターンを考えて、他の既存の発電システムとうまく組み合わせることで、全体として対処していけるのではないかと考えております。

○宝田座長

よろしいでしょうか。そろそろこの議題1は、この辺で終了したいのですが、1点だけ

私からいいでしょうか。

最終的に大型で石炭ガスと組み合わせる場合ですが、ガスの精製に関しては、今検討されているのでしょうか。

○小林委員

これもまだ私どもの社内ではそれほど深く突っ込んだ検討、検証はしておりません。まずは天然ガスのG T F Cが先で、片や石炭焚きのI G C Cが完成したところで、それをつなぐクリーンナップの技術は、これから重要な技術開発だと考えています。

○宝田座長

そこは大きな開発課題があるということでしょうか。

○小林委員

はい。

○宝田座長

わかりました。

○在間N E D O環境部統括研究員

I G F Cに向けた燃料電池と石炭ガスの組み合わせに関しましては、N E D Oで今、事業を実施しております、そのための実セルでのどれだけの影響度があるかとか、最適なガス精製システムはどうあるべきかを勉強しつつ、開発を進めております。

○宝田座長

ありがとうございました。

それでは、ここで議題2に移りたいと思います。まず、次世代火力発電に係る技術開発ロードマップ（中間とりまとめ案）について、事務局より御説明をお願いいたします。

○覚道石炭課長

それでは、お手元の資料3次世代火力発電に係る技術開発ロードマップ（中間とりまとめ案）をごらんいただければと思います。

過去2回の会合で、火力発電の技術、あるいはC O₂の分離・回収、また有効利用に係る技術、広い意味で火力発電の関連技術についての各種の御紹介、御議論をいただいたところでございますけれども、今回、それを踏まえまして、この協議会の7月の時点で中間とりまとめという形で、次世代火力発電に係る技術開発ロードマップを取りまとめができればと考えているところでございます。今日お示しをいたしますのは、その中間とりまとめのための案、あるいはたたき台と御理解いただければと存じます。

目次でございますけれども、これが、ある意味全体構成でございます。まず、1. 技術開発ロードマップ策定の目的、2. 次世代火力発電技術開発の基本方針、続きまして火力発電の高効率化とCCUSについて、それぞれ大きな開発に向けての方向性、目標を記述させていただいております。その後、5. 技術開発を進めるに当たっての原則、あるいは留意点について整理をしまして、その上で、実際の工程表のたたき台を整理してございます。その中でそれぞれの個別技術の開発方針を各個別の技術ごとに整理をするという形で全体を整理してございまして、最後のところで、今回お示しをしたロードマップを、さらに具体的に実現に向けていくに当たっての今後の種々の課題とか取り組みは、第1回でも第2回でもいろいろと御指摘をいただいたところでございますけれども、そういったものを最後に整理して、中間とりまとめ案として整理してございます。

2 ページでございます。1. 技術開発ロードマップ策定の目的でございますけれども、これは第1回のときに御紹介させていただいたものを基本的に踏襲いたしておりますけれども、火力発電の中長期の課題解決には、次世代火力発電技術の早期の技術確立、実用化が鍵ということで、2030年ごろまでを目標期間とする技術開発ロードマップを策定することで、温暖化ガスの抑制、燃料費の抑制という中長期の課題の解決に資する次世代技術の将来見通しを明らかにします。それから、官民一体での開発方針、目標時期を共有し、切れ目なく技術開発を実施します。さらに関連技術の石炭火力、LNG火力、CCUSの3つの分野を一体的に進めていくことで、それぞれの開発成果を共有しつつ、ある意味、加速化、あるいはリソースの最適化を図っていくということです。ここは重要だと思うのですが、これによりユーザーから見て必要な技術が必要な時期に利用可能な状態になっているという状況をできるだけ早く確立をしていくことが目的と整理してございます。

続きまして、3 ページ、基本方針でございます。これは先般のエネルギーミックス、長期エネルギー需給見通しとの関連でも整理をしたものでございますけれども、エネルギーミックスにおいては、火力発電の見通しは、今申しましたように温暖化ガスの排出抑制、あるいは燃料費の抑制のため、高効率火力発電の導入を進め、3Eの観点から全体としてバランスのとれた構成を実現するというものです。石炭火力については、その中で2030年に全国平均でUSC相当の発電効率の実現を目指すとされているところであります。こうしたことを実現していくためには、別途の場でこれから検討されます、いわゆる省エネ法による規制的な手法とあわせてIGCCとかA-USCの今回御議論いただいた次世代技

術の導入を進めていくことが重要だということでございます。

参考に、現時点での石炭火力、LNG火力の導入状況を提示してございます。これは第1回の資料にも御提示をしたものですが、こういう現状を踏まえ、将来に向けて高効率化をしっかりと推進していくことが基本方針だろうと整理してございます。

続きまして4ページ、3. 技術開発目標でございます。まず、火力発電の高効率化ということで、電力の安定供給には、言うまでもなくミックスでも議論になったように石炭火力、LNG火力、いずれも重要でありまして、火力発電の高効率化は、まさに温暖化ガスの削減に必要な重要な対策であるということです。また、2030年以降も低炭素化をさらに実現していくに当たっては、さらなる高効率化も追求していかないといけないということです。CO₂をさらに大幅に削減をしていくためには、将来にわたって経済性と環境負荷の低減の両立が必要で、徹底した高効率化がまずは最優先の課題ということです。

今日も前半で燃料電池についての御紹介をさせていただきましたけれども、大きく技術のフェーズを整理いたしますと、シングルサイクルのものからコンバインドサイクルに移り、さらにトリプルコンバインドと、今まさに御紹介のあった燃料電池も組み合わせた究極の発電方式が見込まれるということです。ガスについては、既に第2世代が普及をしていますけれども、これを第1世代、第2世代、第3世代という形で整理をいたしまして、LNG、石炭ともに第1世代、第2世代のさらなる性能向上はしっかり追求しつつ、第3段階の技術を可能な限り早期に技術確立を目指していくというのが、まさに火力発電の分野で求められていることではないかということで、開発目標として掲げさせていただいております。

続いて5ページ、第2回目で御議論いただいたCCUS、CO₂の回収、有効利用ですが、2030年以降については、特にCO₂排出量の多い石炭火力については、一層の排出削減に向けて高効率化とあわせてCCUSの利用が重要になるだろうと認識しております。火力発電全体で中長期的にCO₂削減をどう進めていくのかということは、国内外での温暖化をめぐる種々の議論が非常に影響されるわけですが、こうした状況変化に柔軟に対応が可能な状態をつくっていく必要がある。そういうためにも、できるだけ早い段階でCCUS技術を実用化し、利用可能としておくことが望ましいと考えております。

したがって、各種技術があるわけですが、基礎となる技術について、2020年ごろに実用化をした上で、2020年代の後半から2030年代ごろにかけて、実際の導入拡大につなげてい

けるような経済的なCCUS技術を順次実用化をしていくことを、1つ目標として掲げたいと考えております。また、実際にいろいろなCO₂削減の技術オプションがあった場合に、当然ながら、経済性も加味して、これぐらいの経済性でこれぐらいのCO₂が削減できるということで、経済性を見つつ、順次そういう技術が採用されるだろうという認識を持ちました。したがって、経済性、処理効率、それから今日冒頭にもございましたように処理容量、どれぐらいの経済性でどれぐらいの量が処理していけるのかを踏まえて、新たな技術イノベーションを最大限活用しつつ、段階的にそうした有望技術を選定していった開発を進めるということをも1つ、CCUSの部分の目標として掲げさせていただいております。

続きまして6ページ、5. 技術開発を進めるに当たっての原則ということで書かせていただいておりますが、次世代火力発電技術の早期の確立、実現のためには、開発リソースの選択と集中を図って、プロセスを効率化することと、実証等を経て技術的にこれであれば実用化に向けた検討の俎上に上らせ得るだろうという技術確立の時点で経済性、信頼性、運用性が確保できていることが重要になるだろうと考えています。

そうしたことを踏まえまして、①から⑤までを原則として掲げておりますが、それぞれ要素技術のうち共通に使えるものについては、できるだけ開発成果を効率的に共有していく。それぞれ経済性、ニーズ、また場合によっては競合関係にある技術も当然出てくると思われますけれども、そうした中で優位性を多面的に評価しまして、場合によってはこちらに集中していくということで技術の選択、集中をしていくことで優先度の高い技術開発にリソースを集中していくことが重要だろうと思っております。それから、経済性とある意味同じ話でありますけれども、従来機並みの発電単価を速やかに達成していくこと。信頼性を確保する意味で、実証については、十分な実証時間をできるだけ確保し、したがって、早期に試験運転に着手し、十分な実証時間を確保する。また、従来技術の活用などにより高い運用性の確保もしっかりと考慮して進める必要があるだろうということでございます。

7ページが、以上のような視点を踏まえまして、これまで2回の会合で御紹介、御議論いただいた技術を中心に、今後の工程表のたたき台ということで、事務局の案を提示させていただいたものでございます。火力の関連の技術につきましては、先ほどのシングルサイクル、コンバインド、トリプルコンバインドという体系で、第1世代、第2世代、第3世代と整理をしまして、それぞれLNG火力、石炭火力について整理をしております。

先ほど来申し上げていますように、共通の技術要素があるということでございますので、こういう形で整理をし、お互いにLNGの技術が石炭火力の技術に生かされていくことを明示する形で整理をさせていただきます。また、一番下の段にCO₂の回収、利用技術に係るところについても整理をさせていただきます。

それぞれ赤字で書かせていただいたところが大きな工程表の目指すべきところでありまして、まず、第1世代の技術については、それぞれ2016年以降ですので、非常に近い将来において、できるだけ高効率化にかかわる技術を確立していく。これは、第2世代の技術として目指しているところに、できるだけ近いところを第1世代の技術として技術の確立を目指していくということでございます。

第2世代のところは、まさに今、実証等が進められているところでありまして、2020年代の初頭には技術の確立を目指したい。また、LNGについては、ここの部分は既に御紹介があったように、1500℃、1600℃という温度があるわけですけれども、それをさらに高めていくための効率向上を進めていくということでございまして、これによれば1700℃級ぐらいについては2020年代の初頭には技術を確立していきたいということでございます。

第3世代でございますけれども、トリプルコンバインドについては、今日御紹介のあった燃料電池の部分は非常に大きな課題として残っているわけですけれども、そうしたところも含めて、2025年ごろには技術を確立することを目指して工程を組んでいきたいということでございます。

この図の整理で、左から進んできている緑のライン、あるいは青のライン、下も共通ですけれども、白抜きになっているところは、基本的に現在進んでいるもの、あるいは将来にもほぼ進んでいくだろうというところ、あるいはそれに関して政府としても既にいろいろな形でサポートをしたり、今後もサポートをしていくだろうということがほぼ確実にしている部分でありまして、白抜きになっていないところについては、これからこの部分も重要になってくるだろうということで、こうした部分について、これからしっかりと取り組みのあり方について検討していく必要があるだろうということで整理をさせていただきます。

紫のCO₂の回収、利用のところですが、既に物理吸収法、化学吸収法、その他の吸収法について取り組みが進んできているところです。また、有効利用については、少し足が長い取り組みではありますが、各種の実証、あるいは要素技術の開発が進められておりますけれども、先ほど整理をしましたように、できるだけ2020年代の後半にはそれぞれ

の技術がしっかりと有望な技術としていろいろなオプションとして整理ができるような状態に順次持って行って、2030年以降に実際の取り組みとして活用していただける形に持っていかないだろうかということで、2020年代後半以降、低コストのCCS技術の確立にはいろいろな技術が含まれるわけですがけれども、そういう形で整理をさせていただいてございます。

8ページ、9ページは、今の線表に掲げました主な技術について、個別に少し目標を書き下したものです。例えばAHATについては、2017年ごろ技術確立、従来機並みのインシヤルコストを目指していきます。1700℃級のGTCCについては、2020年ごろの技術確立、量産後の従来機並みのインシヤルコストを目指していきます。GTFCについては、トリプルコンバインドということで、2025年ごろの技術確立を目指していくということです。

これがLNGの関連技術で、石炭の関係につきましては、A-USCについては、2016年ごろの技術確立、従来機並みの発電単価を目指していく。IGCCについては、酸素吹のものについては2018年ごろに技術の確立、また、量産後の従来機並みの発電単価を目指していく。また、IGFC、石炭ガス化のほうのトリプルコンバインドについても、GTFCの技術も活用しつつ、2020年ごろに技術を確立し、量産後の従来機並みの発電単価を目指していく。こうしたものを個別の開発方針として掲げることが適当ではないかということでございます。

続いて、9ページのCCUSに関連する個別技術の開発方針でありますけれども、物理吸収法については、2020年ごろの技術の確立、速やかに回収コスト2000円/tCO₂程度を目指していくということを掲げておりまございます。

また、固体吸収法、あるいは膜分離法についてもしっかりと技術開発を進めて、現行の化学吸収法よりも回収効率を向上させていく。また、低コスト化、あるいはエネルギー効率の向上をさらに精査をしつつ開発を進めていくと書かせていただいております。

CCUの利用の技術で、藻類バイオ、人工光合成等については、経済的かつ効率的なCO₂処理が可能な技術を広く検証し、段階的に実現可能性の調査とか要素技術の開発を経て、2020年代の後半に向けて有望技術をしっかりと選定し、順次実用化を図っていくということで個別の開発方針として記載してございます。

次の10ページ、また11ページは、それぞれ第1回、あるいは第2回の会合で技術の全体像を整理させていただいたものに、今申し上げた個別の目標、特に技術確立の目標時期を

加筆して、再度整理をさせていただいたもので、これがそれぞれの技術の俯瞰をした全体像を示したものと御理解いただければと思います。

最後の12ページに、9. ロードマップの実現に向けた今後の取組ということで整理をさせていただきます。次世代技術を早期に技術確立し、また、実用化をさせていくためには、以下のような取組を行うことも重要であるということで、これは第1回、また第2回でもいろいろと御指摘いただいた点を整理したものであります。官民の役割分担を踏まえて迅速かつ積極的に技術開発を進める、これは言うまでもないところでございますけれども、それをさらに加速化できないかという可能性について不断に検討していくことが重要であります。また、次世代技術の導入に向けて、実際にその技術を使われるユーザー側の取組も必要ですし、また、その促進に向けた政府側の取組も重要だろうと思っております。今の時点では、それぞれ具体的に明記できるわけではありませんが、いずれにしても、しっかりとそれぞれ双方において検討して、技術確立された技術が順次、できるだけ早く実用化、導入されていくことが必要だろうということでございます。また、⑤NEDOによる火力技術開発の全体進捗管理、技術開発支援と書いてございますが、今回、経産省とともにNEDOにも共同事務局の形で御参画をいただいておりますけれども、NEDOでこれまでのいろいろな技術開発のマネジメントのノウハウ、経験を生かしつつ、この火力の分野は、特にそれぞれの技術に共通の要素技術があったり、あるいは段階的にこちらの技術からこちらの技術へとシフトをさせていったりということで、技術開発プロジェクトのマネジメントによる効果が非常に期待できるだろうと考えておりますので、こうしたところをNEDOでしっかり進めていくことが重要ではないかと考えております。また、⑥この協議会自体、今回7月の時点では、今日お示しさせていただいた中間とりまとめの案を御議論いただいて、これを一旦とりまとめるということでございますけれども、今後も継続してこの場を活用しまして、火力発電をめぐる種々の社会的な面も含めたいろいろな状況変化もあるでしょうし、また、技術動向の変化もあるだろうと思っておりますけれども、こうしたもろもろの技術動向の変化、種々の状況変化も踏まえまして、ロードマップについて適宜進捗状況をフォローアップしていく、見直しを行っていくということです。また、ここに掲げさせていただいた種々のいろいろな課題について、もう少し具体化させることについても、また議論を継続していければと考えております。

○宝田座長

覚道課長、ありがとうございました。

それでは、続きまして次世代火力発電の早期実現に向けた提言につきまして、東京大学生産技術研究所の金子委員に御説明をお願いいたします。

○金子委員

お時間を頂戴いたしまして、ありがとうございます。それでは、資料4に基づきまして、提言ということをお話をさせていただきます。

まず、1番目でございますけれども、次世代火力発電の検討の前提条件です。3つの新しい方針を書かせていただきましたけれども、先月、非常に大きな3つの方針、あるいは仕組が決められたと思います。1つはエネルギーミックスが出されたということ、それから、2030年のCO₂の削減目標は、かなり意欲的な目標が出されました。さらに電力自由化もあるわけでございますけれども、こういう状況を踏まえますと、従来の延長線上で議論するのではなくて、これをしっかりと踏まえた上で、次世代火力の早期実現を議論しなければいけないと考えております。

まず、エネルギーミックスの石炭火力26%の設定でございます。これは、私は非常によくまとめられていると思いますし、いろいろなファクターを考えたときに、これは非常に妥当な線だと思います。基本的には石炭火力はしっかりと維持していくという方針は正しいと思いますけれども、最大の懸念点は、やはりCO₂削減の件でございます。特に26%削減案は非常に意欲的な削減目標でございますから、自分は下げないけど、ほかのセクターで下げてくれということだけでは絶対に達成できない。自らも相当な覚悟を持って下げるといふことでないと、結局は下げられないということ懸念しております。目標値を決めるのは優しいですけれども、具体的なアクションプラン、誰が、いつまでに何t下げるのかという具体的な展開を検討していくと、なかなか積み上がらないというのが過去の実例でございますので、この覚悟は相当なものを持って取り組まなければいけないと思っております。

CO₂削減、あるいは石炭火力の維持を考えたときに一番大事なのは、2番に書いております効率向上策でございます。これは先ほどのロードマップでも、第1世代、第2世代、第3世代という進化をしっかりと進めていくことが示されましたので、これもまた非常にいいプランを立てていただいたと思っております。ただ、皆さんが余り御存じない事実が1つございまして、これはしっかり頭の中に入れておかないと、せっかくのプランも絵に書いた餅になるのではないかということ、ここに述べさせていただいております。それは、石炭の場合と天然ガスの場合、非常に性格が異なっているということです。1ペ

ージの下のほうに書いておりますけれども、石炭火力は設備費が高く、燃料費が安い。一方、天然ガス火力は設備費が安く燃料費が高い。このことが新技術を採用するときに決定的に意味を持つてくるということを申し上げたいと思います。

わかりやすくするために、具体的な数値で言わせていただきますと、石炭火力も天然ガス火力も原価は、ちょっと石炭火力が安いですが、余り変わらないわけでございます。仮にこれを10円といたしますと、その原価構成の内訳を見ると、石炭火力の場合には設備費が7で燃料費が3、天然ガス火力は設備費が3で燃料費が7です。だから、2対1というのが、設備費と燃料費が逆の関係にあるわけです。そうすると、石炭火力の場合に効率を仮に10%上げる、燃料費を10%下げたとしますと、それに等価な、つまり発電原価を上げないための設備費の増加は幾らまで認められるかということ、5%ということになる。だから、せっかく画期的な新技術を採用して燃料費を10%、CO₂も10%下げても、設備費の増加に許される範囲は5%しかないのです。これは非常に苦しい。事実上、大体カバーできないということになります。

一方、天然ガスは、先ほどの関係が逆でございますから、効率を10%上げると設備費は20%上がっても等価ということになるわけでございます。したがって、天然ガスの効率向上は今まで1500℃級のガスタービン、1600℃級のガスタービン、世界最高のガス温度のガスタービンが採用されてきましたけれども、これは別に国がやれと言ったわけではなくて、極端な言い方をすれば、事業者が勝手にやった。つまり、技術の改善が経済的にもペイして、発電原価も下がり、競争力も上がるわけですから、自発的にこれに取り組むという環境がある。ただ、石炭はそういう状況にないわけでございますから、逆に新技術を採用すると発電原価が上がって競争力を失うという立場になりますので、このことをしっかりと踏まえて、特に石炭火力の技術開発をやる場合には、このことが非常に大事だと思っております。

したがって、実用化という今回のテーマでありますと、技術開発したものをいかに実機に適用していくかが大事だと思います。実証機は、例えば30%の補助があるとすると、やろうかという人が出てくるわけですが、実証機をやっても商用機をやろうという人がなかなか出てこない。特にこれが石炭火力の場合には非常に顕著だというのは、先ほどのような背景がございますので、意欲があっても現実に入札すると勝てない。それでは出すわけにいかないという面もあるのかと思います。

そういうことで、私としては、せっかくこのような石炭火力のIGCC、IGFCとい

うロードマップができたのであれば、事業者がそれを実施できるような枠組みを何とかセットにして考えていただけないかということでございます。

1つの案として私案を出させていただきましたのは、将来、USCが採用された場合、CO₂トン当たり大体40ドルから70ドルぐらい費用がかかると言われております。将来、CCSをやるときの同じ内容が、今の時点で新技術を採用することによって実現されるのであれば、将来かかるであろう費用と同じ効果があったということで評価してやるのがいいのではないかとということで、とりあえずCO₂トン当たり5000円として評価をしてあげるということを申し上げております。そうしますと、100万kWのUSC火力で年間設備利用率80%ですと600万tぐらいになります。これを10%下げるとすれば、これにCO₂トン当たり5000円で評価しますと、年間30億円ぐらいに相当いたしますので、これを正當に評価してあげることが必要ではないか。これは、2ページから3ページにございます。具体的に3ページの中ほどでございますけれども、バイオマスを混焼することによって、今、キロワットアワー当たり22円というFITが適用されるとすれば、そのときのFITによる援助額プラスの分に比べても3分の1ぐらいの費用で済むし、まして太陽光のFIT額の総量に比べれば、1%とか2%程度の大きさの費用負担で確実に、今の時点でCO₂を下げられる、そして、石炭火力もしっかりと維持できるという仕組みが大事ではなからうかと思っております。

4ページ以降は補足説明資料ということで、幾つか述べさせていただきます。

1. 今後の石炭火力のあるべき姿は、今日のロードマップにも示されておりますので省略いたします。

2. 安倍首相の5月21日挨拶で、第21回国際交流会議「アジアの未来」の晩餐会でのスピーチを首相官邸のホームページから引用させていただきました。この中に将来の石炭火力のあるべき姿が非常に明確に述べられているかと思ひまして、あえて引用させていただきました。

石炭火力は大事だ。ただし、CO₂が多いから、イノベーションで効率を上げなければいけない。赤で書いておりますように、ガス化技術のIGCC、それから燃料電池とカップルしたIGFCを将来発展させていけば、CO₂の問題と安い石炭を両立させることが可能だということが述べられておりますし、ガス化の技術によって、例えば褐炭を有価物、いろいろな原料とか燃料に転換することもできると述べられております。

もう1つ、私は非常に大事なポイントがあると思ひまして、6ページの下のほう

です。石炭火力は設備費が非常に大きいですから、資金をどうやって確保するかがしっかりと確保されませんと、現実には建設ができないわけでございます。低金利融資がセットになって初めて石炭火力の国際協力ができるわけですけれども、そこにアジア開発銀行と組んで13兆円規模のインフラ資金をしっかりと確保するということが書いてございますけれども、これは、アメリカのオバマ政権が石炭火力を基本的には禁止しようということで、世界銀行、ヨーロッパ復興開発銀行は石炭火力に対しては融資が禁止されているわけでございます。だから、アジア開発銀行がどうなるのかを、みんな心配して見ている。一方、中国はA I I Bでしっかりと資金面はやりますということを意思表示しているわけですから、日本の技術協力はいいけれども、資金面はどうかということは、みんな気にしているところですね。そこがしっかりとこういうふうに言われたということは、その不安を払拭するところだと思います。

そしてまた最後が、「Be innovative」でございますけれども、やはりイノベーションをしっかりとやらなければいけないということだと思います。

3. 日本の石炭火力設備容量です。これは大体4000万kWでございます。注意していただきたいのが、この4000万kWのうちの半分、50%はU S Cです。しかも、超臨界圧まで入れますと88%が日本はもう既に高効率石炭火力です。亜臨界圧が10%ぐらいございますから、これをU S Cに換えるというのは非常にリーズナブルですから、これはぜひ実行していただきたいと思っておりますけれども、超臨界圧の40%近いものをU S Cに換えましても、効率は2ポイントしか上がらない。それに数千億円の投資をして換えるということは、私は余り意味がないのではないかと思いますので、亜臨界圧をU S Cに換えるのはいいですけど、超臨界圧はI G C Cに換えないと、せっかくの改善ができないし、また、石炭火力のCO₂削減もはっきりと目に見える形でできないのではなからうかと思っております。

7 ページの下の4. 中国の状況でございますけれども、このU S Cの技術は、例えば100万kWのU S Cは中国には63基、6300万kWございまして、これは2012年末で既に運転中のものが6300万kWあるわけでございますね。一方、日本は100万kWのU S Cは10基しかございませんから、現時点でも1010万kWしかない。つまり、運転中のものが中国は日本の6倍あるということでございます。

それから、6月1日の新聞報道によりますと、中国は独自の国産技術で開発した2段再熱のU S Cプラントが試運転を始めました。この2段再熱のプラントは、日本のU S Cよりも2%ぐらい効率が高い。これは彼らが言っているわけでございます。ということで、

もう既に中国の技術は日本を抜いたということが中国の報道でなされております。

そういうことを考えますと、今後、国際マーケットは、インドの商談でも今もうほとんどU S Cになっておりまして、世界各地でU S Cで中国と日本の一騎打ちとなっているわけですが、仕様と同じで性能が同じ、価格は半分ぐらいで出てこられるということになりますと、今後なかなか戦えないというのが現状かと思えます。逆に言えば、日本国内で製造はできない、全て海外調達して持っていかないと対抗できないということかと思えます。

5番目にまとめましたけれども、私としましては、今日のロードマップにもございますけれども、U S CからI G C Cへの一日も早い移行を加速化して実行する。ほっておきますと、誰もやらないということになる懸念がございますので、それをしっかりとサポートする仕組みを並行して考えていただければと思います。

このU S Cの技術は、実は私も開発責任者の1人でございまして、約20年かけて日本の国家プロジェクトで日本のオリジナル技術として開発したわけでございますけれども、これも開発した当初はなかなか採用していただけて、仕方ないので、まずは再熱温度だけ上げて、それから主蒸気も上げて、最初は593℃に上げて、それから600℃に上げてというふうに少しずつやりながら、採用してきていただいたわけです。やはり石炭火力の新技術は、先ほど言いましたように自動的に経済性が改善されるというメカニズムが働きませんので、しっかりとした支援策とセットで考えるべきものだと思います。20年もたったと書きましたけれども、初めて600℃、600℃の蒸気温度が採用されたプラントが運転開始をしたのが1998年の6月でございますので、今から17年前でございます。その設計をしたのは、さらにその5年前でございます。ですから、基本的には20年前の技術でございますから、いつまでもこれで世界で戦えるというのは、やはり考えが甘い。せっかくロードマップでI G C Cへの移行をうたっているのであれば、これがやはり国内にもしっかりと適用され、かつ輸出市場でもこれで競争できる方向に持っていくべきと思っております。

○宝田座長

ありがとうございました。

多少時間が押してきましたけれども、それでは、これまでの説明につきまして、御意見のある方は挙手か、あるいは名札を立てていただきたいと思えます。たくさんいろんな御意見があるのではないかと思います。いかがでしょうか。

○藤井委員

発電システムの高効率化については、これまで国、メーカー、そして電気事業者が一体となって、常に世界の最先端を走ってきたと我々は自負しております。電気事業者といたしまして、これからも最新鋭の高効率のものを取り入れていくとともに、さらなる技術開発によってCO₂の発生量を削減していきたいと考えております。

今日は3つほど述べさせていただきます。

1点目が、新技術導入について、ユーザーの立場として述べさせていただきます。経済性、信頼性、運用性、これが我々ユーザーとして、新技術を導入する上での大前提です。幾ら最新鋭、高効率のものでも、信頼性が低かったり、あるいは運用性が悪いとなれば、なかなか新規採用しにくいというのが正直なところでございます。本日、資料3、6ページに、「技術開発を進めるに当たっての原則」というところで、まさしくこの3つについてしっかり触れていただいております。この考え方について、我々として賛同させていただくとともに、今後のロードマップ作成において、この点をしっかり満たしていただくようお願いするものでございます。

2点目でございます。しかし、実際、十分実証を行っても、やはり初めて新技術を導入するときにはリスクはついてくるものと考えております。ただいま金子先生からも、「石炭火力の高効率化にチャレンジする人について何かのインセンティブを」という話がございました。あるいは、前回の委員会的时候にもそういった御意見がございましたが、石炭火力だけでなく、高効率発電システム、あるいはCO₂の削減に資する技術を新たに導入するには、インセンティブが働く何らかの支援策を政府のほうからいただければ、次世代技術の早期導入につながるのではないかと考えるところでございます。

3つ目、金子先生の資料を事前に拝見いたしまして、先生は今日、御説明を省略されたのですが、出力11万2500kW未満の小規模石炭火力の中でのバイオマス混焼の扱いについても御意見を出されておりますが、これらについては、先生の書かれているとおり地域貢献、あるいは森林の再生に寄与するとともに、CO₂の排出原単位が小さくなって、地球温暖化対策の選択肢の1つであると考えております。したがって、現時点でこれらに対する規制の必要性は乏しいと我々として考えるところでございます。

○宝田座長

ありがとうございました。非常にわかりやすい説明だったと思いますが、そのほか何か皆様からございますが。

○小野崎委員

今般のCCCTのロードマップは、2030年が1つの目標となっておりますけれども、いわゆるこういう発電技術の技術開発は20年、30年かかるものですので、2030年以降も横目にきちんと見て方向性を考えていく必要があると思います。その中で、今回、高効率化ということとCO₂回収、いわゆるCCUSという2本立てになっていると思いますけれども、2030年以降、本当にどんな形で進むのか。1つのアイデアとしては、高効率化の発電のところとCO₂回収を一体化した場合に、どんな技術があるのかなと考えています。例えば、今、NEDOさんの中で進んでいるケミカルルーピングのような技術開発、あるいはoxy-fuel IGCCのようなCO₂をリサイクルした形でのCO₂を取り出せるような技術開発、このようなCO₂回収を前提としたときの火力発電技術も少し先のほうに見ながら、今回のロードマップのさらなる目標の次のところが見えるような形で、ぜひ進めていただきたいと思っております。

○宝田座長

ありがとうございます。

○大塚委員

電源開発の大塚でございます。開発者という立場とユーザーという立場で御発言させていただきたいと思っております。

まず、これはお願いでございます。資料3の9ページの物理吸収法のコスト2000円/t-CO₂、その後の11ページの図の中にも同じような表現であるのですが、化学吸収法も同じでございますけれども、11ページの膜分離で1000円台/t-CO₂と書いてありますけれども、これはぜひ2000円台という形で御配慮いただければと思います。

それから、先ほどできるだけいろいろな技術の使える部分は共有してという話がありましたけれども、4ページの第3世代のGTFC、IGFCとございます。7ページにも同じような図がございますけれども、SOFCの大型化というステップは、ガスのほうでまず先陣を切っていただいて、それを石炭のほうに適用するという形になりますので、その辺の若干のタイムラグはどうしても発生いたしますので、その辺も御配慮いただければと思います。

それから、表現方法なので、先ほど覚道課長のほうでもあえて説明していただいたということで、ありがたく思っておりますが、例えば7ページのCO₂の回収技術につきまして、将来的には膜分離法だけということではなくて、我々も将来的にも物理吸収法、化学吸収法をそれぞれ経済性、信頼性を高めていくということで、多分30年代あたりでもいろ

いろな技術が併用されると思いますので、決してこれをばっと見ただけで膜分離法に淘汰されると思われないような表現ぶりをぜひお願いしたいと思います。

○宝田座長

ありがとうございました。

○酒井委員

まず、次世代火力協議会でここまでロードマップを取りまとめていただきました事務局に対しまして、本当に敬意を表したいと思います。どうもありがとうございます。私たちもエネルギー資源の大半を輸入に頼る国としましては、エネルギーセキュリティと経済性の観点から、どうしても石炭火力は必須だと考えております。ですが、石炭火力だけではなくて、先ほど再生可能の話がございましたが、多様化されたエネルギー源としてのベストミックスを我が国としては実現していく必要があるだろうと考えてございます。そういう意味で、我々としては、環境と調和してエネルギーをつくっていく、特に我々の場合といたしましては電力、すなわち環境と調和した電力をいかにしてつくっていくかが私たちに課せられた課題であると考えております。

そういう観点から、3点ほどコメントと感想を申し上げたいと思います。

まず1点目でございます。CCUという話がございましたけれども、CCSにつきましては、穴と申しますか、ストレージする場所はどうしても限られておりまして、我が国としてCCSを積極的に展開していくのは個人的には限界があると考えております。もしこのCCUを進めていくのであれば、今回のロードマップに書いてあるように、技術を絞らずやれることをいろいろやっていって日本発の技術をつくっていく必要があるのではないか、これは純粋に一国民として思っているところでございます。藻類の話とか人工光合成とかいろいろとハードルは高いところはあるかと思いますが、国家プロジェクトではありませんが、10年後、20年後、とにかく国家戦略的に日本としての技術を、恐らく日本発になると思いますけれども、何とか他国に先駆けてやっていく価値はあるのではないかと。これは本当に一国民として純粋に思うところでございます。

2点目でございますけれども、我々ユーザーといたしまして、まず一体何ができるかというところでございますけれども、これは先ほど来議論されておりますように、高効率化を追求していく、ここに我々としても協力していく必要があると考えてございます。先ほど開発成果の効率的な共有というお話がございましたけれども、我々も空気吹きタイプのIGCCについて、勿来で開発に関与させていただいたところもございますし、今現在、

福島復興電源でも商用が目前のプロジェクトを立ち上げているところでございます。第1回の議論でもあったのですが、ガス化炉とか核の部分はメーカーの方々の技術ではあるのですが、全体的にシステムとしたときの熱力学的な部分ですとか、ユーザーとして30年、40年、50年と事業をやってきて、壊れやすい部位はよく存じ上げているところもございまして、そういった面での設計の工夫ですとか、そういうノウハウ面につきましては、いろいろと協力できる場所はあるのではないかと考えてございます。そういう意味で、技術開発というところで、もちろんメーカーの方々が中心になるのでしょうけれども、ユーザーも実際に実証機、商用機をつくる場所では、ユーザーとしての観点で何がしかの協力ができるのではないかと考えているところでございます。

3点目の最後は実証機、商用機のところでございますけれども、ここはやはり実際に技術がフライして、日本でそれが展開されていって、願わくばそれが世界に展開されていくというストーリーが大切だと思っております。先ほど金子先生からお話がありましたけれども、これから電力自由化が進んでまいりますので、自由化と技術開発をどうやって両立させていくかを官民合わせて知恵を出していく必要があるのではないかと考えてございます。技術を商用化させてコモマーシャライズさせるということは、一言で申し上げますと、それで資金調達、ファイナンスができるということになります。マーケットが技術を選んでいく自由化の時代では、結局ファイナンスできるような技術があつて初めてマーケットの中で生きていけるということになります。ここを考えながら、どういうふうに工夫していくべきかを真剣に考える必要があるかと思っております。もちろん事業者としましてもある程度のリスクは、どこかのタイミングではリターンを考えてテイクしていくことも考えなくてはならないことになるだろうとは思っております。ただ、余りにもインシヤルの投資が膨大過ぎるということと、O&Mリスクもございまして、ここはやはり何らかの工夫と、金子先生のおっしゃられるようなインセンティブを組み合わせた取り組みが必要ではないかと考えてございます。インセンティブベースでいかにコモマーシャライズしていくか、ここが鍵ではないかと考えてございます。

○宝田座長

ありがとうございました。

○佐藤委員

ご説明頂いた2030年に向けた技術開発の方向性や行程については技術的に申し分のない内容だと思うのですが、ただ、1点重要だと思っておりますのは、金子先生、それから

今、酒井委員からもお話がありましたけれども、政策的な、施策的な側面だと思います。私は最近、ヨーロッパの発電事情、殊にドイツを注目しています。2013年のドイツの総発電電力量に対する再生可能エネルギーの割合は24%で、原子力が15%という状況です（その他に、石炭46%、天然ガス10%、その他5%）。今、2030年度に向けたエネルギーミックス、電源構成の目標ということで、日本では再生可能エネルギーが22~24%とされています。再生可能エネルギーによる発電電力構成ということを見ると、今のドイツと2030年の日本が同じような状況になります。今、ドイツで何が起きているかというと、再生可能エネルギーをFIT（Feed-in Tariff）で導入を促進しており、再生可能エネルギーが発電した電力を優先的に系統に流すということになっていますので、まず当該日の必要な電力需要に対して再生可能エネルギーが入ってきて、その後、発電原価の最も安いものから入っていくわけですね。例えばドイツであれば褐炭が一番安いわけですから、まず褐炭火力が入って、それから輸入の瀝青炭による火力プラントが運転されます。日照が良くて風況が良い日には天然ガスを使うガスタービンコンバインドサイクルプランの出番がなくなってしまう。その結果、非常に高効率なガスタービンコンバインドサイクル発電プラントの稼働率が非常に下がっている。そうすると、将来的に設備の稼働率が稼げないようなものを誰が入れるのかという議論もあるわけです。ですから、高効率で良い技術をつくることはもちろん重要ですが、それだけでは発電事業者サイドからは、本格的な導入はかなり難しい面もある。これは酒井さんがおっしゃったことと関連していると思うのですが、政策的に全体的に見ていかないと、ファイナンシャルリターンの問題からも、本来はすぐれた技術であっても導入できない。ですから、そういう視点も踏まえながら、技術開発をしていく必要があると思います。

○宝田座長

ありがとうございました。

○鈴木委員

先ほど説明のありました金子先生のインセンティブの件に関しましては、我々もそうだと思うところがございます。今後、電力自由化が進んでいく中で、事業者様が発電所をつくっていくに当たっては、事業リスクを抱えてまで、なおかつ経済性がなかなか担保しづらい環境の中で新しい技術を導入していくというのは、通常しづらいことだと思います。

そういう中で政策的なパリティということについて、よく議論されますけれども、例えば石炭火力でありましたら、現状のbusiness as usual、best available technologyから

どれだけCO₂の削減をできるかということに関する具体的なインセンティブを設置することが1つの大きなポイントだと思います。これに関しましては、何も石炭に限ったことではなくて、例えば天然ガスなどでGTF Cをやる場合においても適用できることで、現状のガスコンバインドサイクルにおけるbest available technologyがこうだ、というレベルがあるならば、そこにGTF Cをやっていく場合のCO₂削減に関しても同じようなパリティというか、インセンティブを与えていくという施策が必要と考えます。

ロードマップが非常に広範な範囲をカバーしているところで非常に難しいとは思いますが、そういう中で気づいた点を1点だけ申し上げますと、みんな気持ちがIGCCの高効率化という方向に向かっていて、CO₂回収に関しましては、先ほど大塚さんがおっしゃったようにいろいろなオプションがあるにもかかわらず、何となく道筋が絞られている感覚があります。仮にCO₂削減を進めていく上で、マーケットにそれを判断させるとするならば、もう少しロードマップを広く構えていただいて、例えばシングルサイクル向けのCO₂削減としてはA-USCも十分あり得ますし、それに対して経済性が成立するのであれば、その方向も可能にするべきでありますし、燃焼後回収とか酸素燃焼のようなシングルサイクルを前提とした技術に関しましてはそれを排除しないで、公平に政策的なインセンティブを与えた状態で進めていくべきではないかと思えます。

○宝田座長

よくわかりました。大分議論が沸騰して時間がありませんが、これで最後でいいですかね。

○中尾委員

CCSやCCUについてもいろいろ配慮していただいたロードマップで非常にうれしく思っていますが、やはりインセンティブは火力の効率アップだけではなくて、CO₂の削減という意味でいえばストレージやUのほうはできたものを売れるからいいという発想はあるかもしれませんが、そこまで含めたインセンティブを考えていただきたい。

それからもう1つ、ストレージをやっている側からいうと、国内でどれだけストレージできるかは疑問に思っている方はたくさんいらっしゃる。私はそこそこあると思っていますが、もう1つは、燃料元でストレージをして、水素なら水素を持ってくる。CO₂と一緒に持ってこないということをもう少し考えるべきではないか。2030年以降でいいのではないかと思えますが、先ほどの三菱さんの燃料電池の最後のシステムも、メタンで持ってきて、日本でガス化して、CO₂は結局出す。でも、それは元の分のCO₂を回収してい

るからいいとおっしゃっていましたが、元で入れてくれば、少なくとも水素を使う分にはそれでいいと思うのです。ただ、燃焼熱の問題がありますから、全部水素というわけにいかないと思うので、その辺をどのくらいに割り振るのがいいのか。特に燃料電池を使うようになれば、特にカーボンがなくてもいいわけで、その辺のある種のベストミックスを考えないといけないのではないかと。そうでないと、日本の近所だけでは無理ですし、CO₂を運んで行って海外で埋めるというのは考えられませんから、元でCO₂はストレージして、要るものだけ持ってくる。それは相手国にCO₂を押しつけるというのではなくて、地球規模全体で見てCO₂をいかに減らして温暖化を防ぐかという発想でいけば十分成り立つ話だと思うので、30年以降はそういうこともぜひ、こういうところへ入れていただくとストレージ、CCSをやっているほうからいうと非常にうれしいと思いますので、御検討いただければ、よろしく願いいたします。

○宝田座長

ありがとうございました。

いかがでしょうか。ちょっと時間が超過しておりますけれども、恐らく皆さん、まだまだ議論が尽きなくて、このロードマップにこういったことも盛り込みたいという意見もあるかと思えます。ただ、今日は時間もないことで、この辺で終了させていただきますけれども、今日はとりあえず事務局からロードマップの案について御説明いただいて御議論いただきました。今日の議論は、技術の開発だけではなかなか早期実現まではいかないようなニュアンスのお話が多かったかと思えますが、そういったものを踏まえまして、もう1度協議会を行って議論してみてもどうかと考えておりますが、いかがでしょうか。

(異議なし)

○宝田座長

ありがとうございます。それでは、次回第4回を、今のところ、今月中をめどに開催させていただくということで、事務局から日程調整等を行わせていただきたいと思います。委員の皆様には、引き続き御協力のほどを何とぞよろしくお願いしたいと思います。

それでは、事務局から今後の予定について御説明をお願いしたいと思います。

○覚道石炭課長

本日は大変有意義な御意見を多数いただきまして、ありがとうございました。今、座長からもお話しございましたように、今日はたたき台ということで案を提示させていただい

たわけですけど、大変貴重な、また、広範な御意見をいただいたところでございますので、本日の御意見等も踏まえまして、絵だけではなくて文章で書いたところの記述等々も含めまして、改めまして少し修正、再整理をいたしまして、再度、協議会を開催させていただきまして、そこで中間とりまとめをさせていただくという形で進めさせていただければと思います。また日程等の調整はさせていただければと考えております。

○住田資源・燃料部長

今日も大変活発な御議論をありがとうございました。特に技術の話もちろんいっぱいあったわけですが、やはりインセンティブというか、政策をどうするかという御議論が非常に多くございましたので、重く受け止めたいと思います。金子先生の御指摘の中では、環境税を財源として使えということが出ているわけですが、一方で、世界の中では、6月に例の世界ガス会議があったときに、世界のオイルメジャーの方々、特にヨーロッパのメジャーの方々が共同提案という形でカーボン・プライシングをやるべきだと。メジャーの人がカーボン・プライシングを提案するというのは我々としても非常に衝撃を受けたわけですが、彼らの狙いは、ガスを売りたいということで、石炭じゃなくてガスにするというメッセージだったわけであります。

そういう世界の中での議論もあるものですから、我々も政策をいろいろ考える上でもいろいろなことを考えながらやらないと、変な方向に引っ張ってもいけないというところもあり、今日はいろいろとインセンティブについて御指摘をいただきましたが、さらに具体的な案がもしあれば、いつでも結構でございますので、事務局に御指摘をいただけましたら、また次回お示しする中にも盛り込んでいけると思いますので、ぜひイノベーティブな発想での政策提言をお願いできますと幸いです。

○宝田座長

ありがとうございました。これは本当に国家挙げての仕事になると思いますが、最終的には国民合意といいますか、国民の支持が得られるような形のロードマップが重要かと思っています。ぜひ御協力をお願いしたいと思います。

それでは、これもちまして本日の第3回次世代火力発電の早期実現に向けた協議会を終了とさせていただきます。長時間にわたり本当にありがとうございました。